

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**Departamento de Geodinámica**



**ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL  
RÍO AMARGUILLO (TOLEDO)**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE  
DOCTOR POR**

Ángela Potenciano de las Heras

Bajo la dirección del Doctor:

Juan José Durán Valsero

**Madrid, 2004**

**ISBN: 84-669-2587-2**



# **LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CENTRO-SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS**

**TESIS DOCTORAL**

**Ángela Potenciano de las Heras**

**Tomo I**

**Directora: Guillermina Garzón Heydt  
Madrid, Septiembre 2004**

La Doctora **Guillermina Garzón Heydt**, profesora titular del departamento de Geodinámica Externa de la Facultad de Geología (Universidad Complutense de Madrid)

**CERTIFICA:**

Que ha dirigido el trabajo de investigación con título “LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CENTRO-SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS”, realizado por **Ángela Potenciano de las Heras** y **AUTORIZA** su presentación para optar al Título de Doctor de la Universidad Complutense de Madrid, por considerar que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Madrid, a    de    de 2004

La Directora de la Tesis Doctoral

Fdo. **Guillermina Garzón Heydt**





---



---

ÍNDICE	pag.
--------	------

## **TOMO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

1.2. OBJETIVOS .....	1-1
1.3. METODOLOGÍA .....	1-2
1.3.1. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	1-3
1.3.2. METODOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE AVENIDAS.....	1-3
1.4. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PENÍNSULA .....	1-4

### **2. CLIMATOLOGÍA**

2.1. EL MARCO CLIMÁTICO REGIONAL.....	2-1
2.2. TIPOS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA Y MECANISMOS DE GENERACIÓN DE PRECIPITACIONES.....	2-5
2.2.1. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN RÁPIDA.....	2-7
2.2.2. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN CELULAR .....	2-8
2.2.3. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN HÍBRIDOS.....	2-11
2.2.4. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADORES DE LLUVIAS TORRENCIALES .....	2-12

### **3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CENTRO-SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA**

3.1. INTRODUCCIÓN .....	3-1
3.2. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL TAJO .....	3-4

---

---

3.3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL GUADIANA .....	3-6
3.4. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL JÚCAR .....	3-7
3.5. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL SEGURA .....	3-7
3.6 COMPARACIÓN Y RESUMEN DE LAS PRINCIPALES INUNDACIONES EN LAS CUENCAS DEL TAJO Y DEL GUADIANA.....	3-8
 <b>4. ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES DE INUNDACIÓN Y DE PRECIPITACIÓN</b>	
4.1. INTRODUCCIÓN .....	4-1
4.2. LAS SERIES DE INUNDACIONES .....	4-3
4.2.1. ANÁLISIS GENERAL DE LAS INUNDACIONES.....	4-3
4.2.2. ANÁLISIS DE LAS SERIES SUAVIZADAS DE INUNDACIONES .....	4-5
4.3. LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN .....	4-10
4.3.1. ANÁLISIS GENERAL DE LAS PRECIPITACIONES .....	4-10
4.3.1.1. LAS ESTACIONES ATLÁNTICAS .....	4-11
4.3.1.2. LAS ESTACIONES MEDITERRÁNEAS .....	4-12
4.3.1.3. COMPARACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES ENTRE LAS DOS VERTIENTES.....	4-16
4.3.2. ANÁLISIS DE LAS SERIES SUAVIZADAS DE PRECIPITACIONES .....	4-18
4.4. COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES .....	4-21
4.4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIONES Y SU RELACIÓN CON LA ESTACIONALIDAD DE PRECIPITACIONES .....	4-22

---

---

4.4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS INUNDACIONES Y LAS SERIES DE PRECIPITACIONES SUAVIZADAS .....	4-27
4.5. RELACIÓN DE LAS INUNDACIONES CON PERÍODOS SECOS Y HÚMEDOS .....	4-32
4.5.1. DESVIACIÓN TÍPICA ACUMULADA Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PEARSON DE PRECIPITACIONES.....	4-32
4.5.2. COMPARACIÓN DE INUNDACIONES Y PERÍODOS SECOS Y HÚMEDOS .....	4-38
4.5.3. MÉTODO DE FOLEY .....	4-42
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	4-46
4.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES INDIVIDUALES DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIÓN .....	4-46
4.6.1.1. PRUEBAS DE ALEATORIEDAD .....	4-46
4.6.1.2. AUTOCORRELACIÓN.....	4-49
4.6.1.3. PRUEBAS DE INDEPENDENCIA ESTADÍSTICA ENTRE LAS INUNDACIONES .....	4-53
4.6.2. COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES.....	4-55
4.6.2.1. CORRELACIÓN NO PARAMÉTRICA O DE SPEARMAN .....	4-55
4.6.2.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) ENTRE PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES .....	4-58
4.6.2.3. REGRESIÓN LOGÍSTICA.....	4-62
4.6.2.3.1. MODELO PREDICTIVO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA .....	4-69

---

---

4.7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS INUNDACIONES.....	4-71
4.7.1. LOS ANÁLISIS DE TENDENCIAS.....	4-72
4.7.2. LAS OSCILACIONES DE LA SERIE Y PERIODOS ANÓMALOS DE AVENIDAS .....	4-73
4.7.3. RELACION ENTRE LAS INUNDACIONES Y LA PRECIPITACIÓN.....	4-76
4.7.4. RELACION ENTRE LAS INUNDACIONES Y CICLOS SECOS_HÚMEDOS.....	4-77
4.7.5. CORRELACIÓN ENTRE LAS INUNDACIONES Y LAS PRECIPITACIONES .....	4-79
 5. MARCO GEOMORFOLÓGICO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBCUENCAS TIPO SELECCIONADAS	
5.1. ENCUADRE GENERAL .....	5-1
5.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LAS SUBCUENCAS.....	5-6
5.3. SUBCUENCAS DEL RÍO GUADIANA .....	5-14
5.3.1. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA.....	5-14
5.3.2. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA QUINTANAR DE LA ORDEN .....	5-15
5.3.3. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA VILLAFRANCA.....	5-16
5.3.4. SUBCUENCA DEL RÍO AMARGUILLO .....	5-17
5.3.5. SUBCUENCA DEL RÍO ZÁNCARA .....	5-19
5.3.6. SUBCUENCA DEL RÍO CÓRCOLES.....	5-20
5.3.7. SUBCUENCA DEL RÍO GUADIANA HASTA ATAJADERO.....	5-21
5.3.8. SUBCUENCA DEL RÍO AZUER .....	5-22

---

---

5.3.9. SUBCUENCA DEL RÍO JABALÓN .....	5-24
5.3.10. SUBCUENCA DEL RÍO BAÑUELOS HASTA MALAGÓN .....	5-25
5.3.11. SUBCUENCA DEL RÍO BECEA HASTA MALAGÓN .....	5-26
5.4. SUBCUENCAS DEL RÍO TAJO .....	5-27
5.4.1. SUBCUENCA DEL ALTO TAJO .....	5-28
5.4.1.1. SUBCUENCA DEL RÍO CUERVO .....	5-28
5.4.1.2. SUBCUENCA DEL RÍO ESCABAS .....	5-29
5.4.1.3. SUBCUENCA DEL RÍO TRABAQUE.....	5-30
5.4.1.4. SUBCUENCA DEL RÍO GUADAMEJUD .....	5-31
5.4.1.5. SUBCUENCA DEL RÍO MAYOR.....	5-33
5.4.2. SUBCUENCAS DEL RÍO HENARES.....	5-34
5.4.2.1. SUBCUENCA DEL RÍO HENARES HASTA BUJALARO.....	5-34
5.4.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO HENARES HASTA LA ESTACIÓN DE AFORO EL ESPINILLO .....	5-35
5.4.2.3. SUBCUENCA DEL RÍO SORBE .....	5-36
5.4.2.4. SUBCUENCA DEL RÍO BADIEL .....	5-37
5.4.2.5. SUBCUENCA DEL RÍO BAÑUELOS HASTA ALCALÁ DE HENARES .....	5-38
5.4.3. SUBCUENCAS DEL RÍO JARAMA .....	5-39
5.4.3.1. RÍO JARAMA .....	5-39
5.4.3.2. SUBCUENCA DEL ARROYO DE LA VEGA.....	5-41
5.4.3.3. SUBCUENCA DEL RÍO PAEQUE.....	5-41

---

---

5.4.3.4. SUBCUENCA DEL RÍO MANZANARES.....	5-42
5.4.3.5. SUBCUENCA DEL RÍO TAJUÑA.....	5-43
5.4.3.6. SUBCUENCA DEL RÍO PERALES.....	5-45
5.4.3.7. SUBCUENCA DEL RÍO MARTÍN ROMÁN.....	5-46
 <b>6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS RELACIONES DE LOS CAUDALES DE AVENIDA CON LA GEOMORFOLOGÍA Y LA PRECIPITACIÓN</b>	
6.1. INTRODUCCIÓN.....	6-1
6.2. CÁLCULO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	6-4
6.2.1. LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA.....	6-4
6.2.2. CAUDALES MÁXIMOS AFORADOS.....	6-9
6.2.3. PERMEABILIDAD DE LA CUENCA .....	6-12
6.2.4. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS Y DE LA RED DE DRENAJE .....	6-14
6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN MÚLTIPLE.....	6-17
6.3.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	6-18
6.3.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE.....	6-26
6.3.2.1. SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO DE REGRESIÓN .....	6-27
6.3.2.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	6-30
6.3.2.3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN .....	6-31
6.4. DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN .....	6-35

---

---

## 7. CONTRASTACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDA MEDIANTE DIVERSOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

7.1. LOS CAUDALES DE AVENIDA ESPERABLES SEGÚN EL MÉTODO HIDROMETEOROLÓGICO .....	7-1
7.1.1. EL MÉTODO RACIONAL MODIFICADO .....	7-3
7.1.1.1. INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN .....	7-3
7.1.1.2. TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN .....	7-5
7.1.1.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y ESTIMACIÓN FINAL DE CAUDALES .....	7-8
7.2. LOS REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES DE AVENIDA .....	7-11
7.3. LOS CAUDALES OBTENIDOS A PARTIR DE ESTACIONES DE Aforo .....	7-15
7.4. LOS CAUDALES DEDUCIDOS DE LOS HIDROGRAMAS DE AVENIDA .....	7-19
7.5. COMPARACIÓN DE LOS CAUDALES OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS .....	7-23
7.6. CONCLUSIONES .....	7-27

## 8. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES 8-1

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 9-1

9.1. FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE INUNDACIONES HISTÓRICAS CONSULTADAS .....	9-22
--	------

## **ÍNDICE ANEXOS**

### **TOMO II**

#### **ANEXO I**

Descripción de inundaciones históricas en las cuencas altas del Tajo y del Guadiana

#### **ANEXO II**

Resultados de los análisis de correlación de Spearman

#### **ANEXO III**

Resultados del análisis de la varianza (ANOVA)

#### **ANEXO IV**

Análisis de Regresión Logística

#### **ANEXO V**

Esquemas litológicos, topográficos y de cubierta vegetal de las cuencas estudiadas antes

#### **ANEXO VI**

Análisis gráfico de ajustes probabilísticos de caudales máximos

#### **ANEXO VII**

Análisis de Regresión Múltiple

#### **ANEXO VIII**

Mapas de zonas de escorrentía



## A mi familia, la presente y la futura...

Esperamos que cese la lluvia,  
aunque nos hemos acostumbrado  
a permanecer invisibles, tras la cortina.  
La cuchara es colador ahora y nadie se atreve ya  
a extender la mano.  
Muchas cosas flotan por las calles,  
cosas bien escondidas en tiempo seco.  
¡Qué penoso ver las sábanas usadas del vecino!  
Vamos a menudo al indicador de nivel  
y comparamos, como relojes, nuestras cuitas.  
Algunas cosas pueden regularse.  
Pero cuando los aljibes se desborden  
y se colme la medida que heredamos  
tendremos que ponernos a rezar.  
El sótano está sumergido, hemos subido las cajas  
y comprobamos con la lista el contenido.  
Todavía no se ha perdido nada...  
Como es seguro que las aguas bajarán pronto  
hemos empezado a coser sombrillitas.  
Será muy duro volver a cruzar la plaza,  
claramente, con sombra de plomo.  
Al principio echaremos de menos la cortina  
y bajaremos al sótano a menudo  
para contemplar la marca  
que las aguas nos legaron.

*"Inundación" de "Las ventajas de las gallinas de viento" (Günter Grass, 1956)*



*Agradecimientos:* a los compañeros y profesores de la Facultad de Geología de Madrid, muy especialmente a Guillermina Garzón, directora de esta Tesis, por sus valiosos consejos y su intensa dedicación e implicación en este trabajo, a José Antonio Ortega y Julio Garrote, a Rafaela Marfil y M<sup>a</sup> José Pellicer, a todos ellos gracias por su apoyo, colaboración y confianza. A aquellos compañeros del IGME que me prestaron su ayuda, sus conocimientos y sus consejos, y que sé que alegrarán de ver por fin terminada esta Tesis, entre ellos mi especial agradecimiento a mis antiguos compañeros, y sin embargo amigos, Antonio, Oscar, Modes, Beba, Conchi, Mónica, Sandra, M<sup>a</sup> Jose y Edgar, por su apoyo y paciencia, y a Juan José Durán, por sus siempre acertados consejos.

Al personal del CEDEX, especialmente a Luis Quintas y Javier Álvarez, por facilitarme material fundamental para la realización de este trabajo.

A Miguel Ángel Jiménez, de Protección Civil en Madrid, por los datos facilitados y por apoyar mis ideas.

A Ricardo García, del Centro de Proceso de Datos de la Universidad Complutense, por su inestimable ayuda en el desarrollo de los métodos estadísticos aplicados y el interés mostrado en este trabajo

A todos los amigos que, desde sus distintos puestos de trabajo, me han facilitado información y material, y me han dedicado su tiempo y su paciencia (M<sup>a</sup> José Domínguez Cuesta, Marta González Garrido, Pedro Rincón Calero, Jesús Manzanas y Cristina de Santiago). A José María Martínez Ramos y a mis padres por su ayuda con las fotografías.

A José García, de Consuegra, por su colaboración y su entusiasmo. Y un recuerdo entrañable a don Domínguez Tendero, fallecido el año 2002, que dedicó buena parte de su tiempo al estudio de la historia de esta población y un río, el Amarguillo, y cuyo trabajo contribuyó a despertar en mí el interés y la curiosidad por el estudio de las inundaciones históricas.

A la empresa Portulano, por prestarme sus instalaciones y sus ordenadores, y muy especialmente a Ángel Moreno Díaz, por su incansable apoyo, paciencia, cariño y comprensión.

A los compañeros de la Universidad de Oviedo, por su ayuda, su hospitalidad y comprensión en este último año de intenso trabajo.

A mi familia y amigos, por acompañarme en esta “pelea” durante tanto tiempo.



## 1. INTRODUCCIÓN

En la presente Tesis se plantea la problemática de las inundaciones en las cuencas hidrológicas del centro Peninsular, centrándonos especialmente en la mitad superior de las cuencas del Tajo y del Guadiana, y relacionándolas a su vez con las que ocurren en la zona equivalente pero de la vertiente mediterránea, las del Júcar y Segura.

Estas cuencas del centro peninsular tienen una larga tradición histórica de inundaciones y aunque estos eventos no han generado en la mayoría de los casos daños catastróficos y solo en ocasiones han registrado caudales excepcionalmente altos, es interesante su estudio sobre todo desde el punto de vista de su génesis y de su evolución espacio-temporal.

Se tratará esta problemática a través del análisis comparativo de las inundaciones en esta parte de la península, desde el punto de vista de su génesis y de su relación con la climatología, especialmente con las precipitaciones, y con las características físicas de las cuencas que las generan. Para ello se han recopilado y analizado de forma exhaustiva los datos históricos, hidrológicos y climáticos correspondientes a las cuencas objeto de este estudio. Se han aplicado diversas metodologías al estudio de caudales de avenida que aportarán un mejor conocimiento del funcionamiento hidrológico de estas cuencas y, mediante el análisis crítico de los resultados obtenidos, se discutirá la validez y aplicabilidad de cada uno de estos métodos.

El distinto comportamiento hidrológico de estas cuencas, su diferente ocupación y regulación y las variaciones en los usos del territorio hacen que, a pesar de su posición geográfica próxima, muestren diferencias en cuanto al registro histórico de inundaciones y a la valoración de los daños producidos por las mismas. Además, la cuenca del Guadiana presenta una red de drenaje peculiar, por lo que se hace necesario una amplia investigación y desde distintas perspectivas que aporten un mayor conocimiento de la misma.

Las cuencas seleccionadas para este estudio disponen de suficiente información para abordar el análisis de inundaciones históricas que aquí se plantea, a pesar de que esta información pueda estar sesgada en épocas anteriores al siglo XVIII, debido no solo a la falta de información, sino también a una menor ocupación del territorio, especialmente de las llanuras inundables.

### 1.2. OBJETIVOS

Con la presente Tesis Doctoral se pretende ofrecer un mayor conocimiento de la generación de inundaciones en el centro peninsular y de sus relaciones con la climatología de la zona, fundamentalmente mediante el estudio de la evolución histórica de las precipitaciones y de las

inundaciones, y de las relaciones existentes entre ambas variables. Por otra parte, se ofrece un análisis crítico en cuanto a las distintas metodologías aplicables al estudio de avenidas en España, concretamente en la mitad centro-sur de la Península Ibérica. Dado el carácter de estudio regional de este trabajo y el gran volumen de datos que han sido analizados, puede constituir una buena base de información para posteriores estudios planteados en este sentido.

Los objetivos de la tesis, por tanto, se han centrado en dos grandes aspectos: el análisis de las inundaciones desde un punto de vista histórico y su significado a nivel de cuenca.

El análisis histórico nos permite encuadrar las inundaciones en su marco climático, no solo actual, si no dentro de sus oscilaciones temporales y su posible relación con los periodos secos y húmedos.

Por otro lado se ha tratado de interpretar los otros aspectos que condicionan el hecho de que se generen o no avenidas, como las características geomorfológicas de la cuenca de drenaje que llevan a que, frente a unas condiciones climáticas determinadas, las respuestas de las cuencas puedan ser diferentes. Por ello se realizan estudios de regresión y correlación de los caudales no solo con la precipitación, sino con los parámetros morfológicos de las distintas subcuencas relacionadas.

Finalmente se plantea un análisis comparativo de los datos de caudales considerados para el estudio, y que son los obtenidos a partir de estaciones de aforo. Se realiza la contrastación de estos caudales con los obtenidos por otros métodos.

### **1.3. METODOLOGÍA**

Este estudio se ha abordado desde varias perspectivas. En primer lugar, y en base a la recopilación y análisis de los datos históricos de inundaciones debidas tanto a crecidas, desbordamientos o avenidas súbitas de los ríos y arroyos, como a episodios tormentosos, temporales de lluvia, etc., se han clasificado estos episodios en función de su magnitud, distribución estacional, parte de la cuenca afectada, causas, etc. A continuación, se han analizado las variaciones espacio-temporales en la ocurrencia de inundaciones y su relación con las precipitaciones en las cuencas del centro peninsular. Por otra parte, se han delimitado una serie de subcuencas en el alto Guadiana y en el alto Tajo donde se aplican distintos métodos de análisis de caudales de avenida, como son el método histórico, los métodos hidrológicos e hidrometeorológicos y métodos estadísticos, en función de los registros disponibles de inundaciones, precipitaciones y caudal. Por último, se ha analizado la influencia de los parámetros geomorfológicos característicos de cada cuenca y de su red de drenaje en la generación de caudales de avenida.

---

Por tanto, la metodología general aplicada en este trabajo ha consistido, por una parte, en la recopilación y tratamiento de la información histórica, hidrológica, cartográfica y documental, y por otra parte, en la aplicación de distintos métodos al análisis de avenidas.

### 1.3.1. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos analizados en este trabajo se pueden clasificar en varios grupos, por una parte, datos históricos de inundaciones, registradas desde el año 620 hasta 1999 en las cuencas del centro peninsular, Tajo, Guadiana, Júcar y Segura, y datos históricos de precipitaciones registrados desde 1854 hasta la actualidad en distintas estaciones meteorológicas situadas en las cuencas estudiadas. Por otra parte, se contrastan los datos de caudal aforado desde 1910 hasta la actualidad en distintos puntos de aforo de las cuencas seleccionadas para el estudio, y por último, información bibliográfica y cartográfica, tanto en formato digital como en papel.

### 1.3.2. METODOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE AVENIDAS

Debido a los distintos enfoques desde los que se plantea este estudio, se han aplicado distintas metodologías en cada parte del trabajo que se irán explicando con más detalle en el apartado metodológico correspondiente desarrollado al comienzo de cada capítulo de esta Tesis. Las fuentes de información consultadas y el tratamiento de estos datos previo a su análisis se especificará igualmente con más detalle en estos apartados metodológicos.

Por tanto, aquí se explican solo de forma general los distintos métodos aplicados para el estudio de avenidas en estas las cuencas.

*Método histórico:* a partir de la recopilación y tratamiento de los datos históricos de inundaciones y precipitaciones registradas en las mencionadas cuencas, se ha analizado esta información histórica, clasificando las avenidas en función de su magnitud, estacionalidad, distribución espacial, tipología, caudales máximos registrados, etc. y analizando su relación con las precipitaciones históricas que las han podido generar. Por último, se han analizado comparativamente en las distintas cuencas las variaciones espaciales y temporales de estas series de precipitación e inundación.

*Métodos hidrológicos,* que incluyen el análisis de caudales aforados e hidrogramas correspondientes y la estimación de caudales máximos de avenida para diferentes períodos de retorno aplicando el método hidrometeorológico.

---

*Métodos geomorfológicos*, a través de la medición de diferentes índices morfométricos característicos de las cuencas y redes de drenaje y análisis de su relación con la generación de caudales de avenida.

*Métodos estadísticos*, aplicados tanto al análisis de la información histórica de precipitaciones e inundaciones como al análisis de las relaciones existentes entre los caudales aforados y los parámetros geomorfológicos y climáticos de las cuencas.

#### **1.4. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PENÍNSULA**

En España se han abordado los estudios de avenidas desde distintas disciplinas técnicas y científicas con especial interés en materia de prevención. En este sentido existen varias instituciones encargadas del estudio, predicción y establecimiento de sistemas de alerta de inundaciones, como son el CEDEX (Centro de Estudio y Experimentación de Obras) perteneciente al Ministerio de Fomento, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), Protección Civil, los Organismos de cuenca o Confederaciones Hidrográficas y el Consorcio de Compensación de Seguros. Estos organismos han desarrollado normativas, designado grupos de trabajo y aprobado directrices y normas metodológicas de actuación en lo referente a la recopilación de información y estudio de las inundaciones en España.

La Comisión Técnica de Inundaciones, creada en Mayo de 1982 fue la encargada de elaborar los Estudios de Inundaciones Históricas y los Mapas de Riesgos Potenciales en las grandes cuencas de la Península (*Comisión Nacional de Protección Civil, 1983 y 1985*), cuya información se utilizó, a su vez, para la elaboración de los mapas de síntesis de inundaciones históricas recogidos en el Plan Hidrológico Nacional de 1993 (*Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1993*).

Para la recopilación, estudio y clasificación de la información de las zonas de la Península potencialmente amenazadas por riesgo de inundaciones, el Comité Estatal de Coordinación previsto en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (*BOE 1995 y Ministerio del Interior, 1995*), acordó en 1996 la creación de Grupo de Trabajo sobre Riesgos de Inundaciones en España y se elaboró en 1997 una Guía Metodológica para la elaboración de Catálogo de Inundaciones Históricas (*DGPC, 1997*), que permitirá la actualización de la información histórica de inundaciones en España.

Respecto a los trabajos desarrollados por el IGME tenemos los Mapas de Prevención de Riesgos por Inundaciones a distintas escalas elaborados por el IGME, como los del País Vasco (*IGME, 1984 y 1986*) y de la provincia de Alicante (*ITGE, 1990*), a escalas 1:100.000 y 1:200.000,



cartografías de zonas inundables a escala 1:50.000 en el sector litoral levantino basadas en los Mapas Geológicos de la serie MAGNA (Elízaga *et al*, 1983; Elízaga, 1988); mapas de riesgo a escala 1:25.000, 1:10.000 y 1:5.000 en Andalucía, y Extremadura (Ayala *et al*, 1986), Murcia (IGME, 1987a) y la Comunidad Valenciana (IGME, 1987b); en los núcleos urbanos de Güimar y Playas de las Américas en Tenerife (ITGE-Durán *et al*, 1989). Este organismo ha realizado otros estudios de previsión de riesgos de avenida en otras zonas como Cataluña, Castilla y León, Burgos, Huesca, Castellón, elaborando informes internos en algunos casos aún no publicados, ha establecido además criterios geológicos y otras acciones para la previsión de avenidas y atenuación de los daños ocasionados (IGME, 1995; 1985 y 1987c; Pujadas y Ferrer, 1997; Ayala Carcedo y Olcina Cantos, 2002) y otros estudios relacionados con riesgos geológicos asociados a inundaciones, como la erosión de laderas (ITGE-del Val *et al*, 1990). En los últimos años se ha dado especial importancia a la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al estudio de riesgos geológicos (IGME, 1999). Por último, el IGME ha publicado catálogos generales de riesgos geológicos, donde podemos encontrar también los apartados dedicados a las inundaciones (ITGE, 1988a y 1988b). Se puede encontrar una recopilación de la producción cartográfica y documental de muchos de estos trabajos en Díez y Pujadas (2002) y en Díez y Laín (1997 y 1998).

En la I. Jornada Parlamentaria sobre prevención de riesgos relacionados con el agua celebrada en Madrid en Noviembre de 1997 se presentaron, bajo diversos puntos de vista, los trabajos que se estaban realizando en España en materia de planificación y gestión. Entre ellos, cabe destacar las conferencias de Cabezas Calvo Rubio *et al*, 1997 se expone el importante papel de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones o las de Castillo Sánchez *et al* (1997), Díez (1997) y Durán Valsero *et al* (1997) sobre la planificación frente a los riesgos hidrológicos. En este sentido hay que destacar el informe realizado por el CEDEX en 1991, el *Libro Blanco del Agua en España* de 1998, elaborado por los distintos organismos con competencia sobre las aguas continentales, y algunos trabajos en los que se aborda la problemática concreta de una región en cuanto a la planificación territorial ante el riesgo de inundaciones, como el de Cayuela Prieto, 1995 en la Comunidad Valenciana.

Dentro de un ámbito orientado más a la investigación y a la planificación hidrológica, cabe destacar el papel desarrollado por el CEDEX a través de trabajos de ordenación de zonas inundables (CEDEX, 1991 y 1994a), el desarrollo de aplicaciones informáticas para el estudio, seguimiento y previsión de avenidas como ASTER, CAESAR, SIMPA, EDIMACHI (Aldana Valverde *et al*, 2002), GISPLANA (Estrela y Quintas, 1996), CHAC (CEDEX, 2002), o el desarrollo de modelos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidráulicos, como los trabajos de Témez Peláez (1978), CEDEX (1988), Ferrer (1992 y 1993), Miró Granada (1976), Ferrer Polo (2000), CEDEX-

MOPTMA (1996), Estrela y Quintas (1996), Marco (1996), Domínguez Sánchez (1996), Palma y Quintas (1996) y Ruiz Pérez (2001).

Otra iniciativa importante del CEDEX en cuanto a la planificación hidrológica fue el establecimiento de un Sistema Automático de Alerta e Información Hidrológica (SAIH), promovida por la DGOHCA (Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas) e implantados por los Organismos de Cuenca de las distintas Confederaciones Hidrográficas. Los Organismos de Cuenca se encargan del funcionamiento y mantenimiento de estas redes de medida y el Ministerio de Medio Ambiente es el encargado de archivar los datos recogidos y difundirlos a través de la DGOHCA, por ejemplo por medio del Servicio de Información sobre Aguas Continentales HISPAGUA (CEDEX-M° Fomento/Secretaría de Estado de Aguas y Costas-Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas-M° Medio Ambiente). Se deben destacar también las normativas desarrolladas por el Estado para la delimitación de Dominio Público Hidráulico, que contribuyen a la prevención y atenuación de los daños producidos por inundaciones, y cuyas últimas modificaciones aparecen publicadas en el *Real Decreto 606/2003*. Existen también informes de valoración de daños del Ministerio de Fomento, de los organismos competentes en materia de Obras Públicas en las distintas Comunidades Autónomas y los expedientes del Consorcio de Compensación de Seguros. También en este sentido el CSIC (Centro Superior de Investigaciones Científicas) desarrolló un proyecto de recopilación de información sobre paleoinundaciones y datos paleoclimáticos en la cuenca del Tajo, denominado “PaleoTagus”.

Existen además numerosos estudios en los que se han ensayado diversas metodologías para el análisis de avenidas en varios puntos de la Península, llevados a cabo en su mayor parte en Universidades y Centros de investigación. Los puntos de vista desde los que se han abordado estos estudios son muy diversos. Así tenemos los estudios sobre geomorfología fluvial relacionada con el riesgo de inundaciones en determinadas cuencas como los de López Bermúdez y Gutiérrez (1983) en el río Segura; Trilla *et al* (1983) en la cuenca del Segre; Soria *et al* (1990) en el río Guadalorce; Martínez Goytre *et al* (1986) en el río Júcar, Romero *et al.* (1989) en la Rambla de Albuñol-Granada, Corominas y Alonso (1990) en el sur de Pirineos; Macklin *et al* (1994) en la región de Alcañiz-Teruel, Ollero (1996) en el Ebro, y otros trabajos más generales como los de Masachs (1950), López Vera y Pedraza (1976), Garzón (1985 y 1988) y Camarasa y Mateu Bellés (2000), entre otros.

En el estudio de las inundaciones desde una perspectiva sedimentológica y paleohidrológica podemos mencionar los trabajos en el río Júcar de Rubio *et al* (1983), Carmona y Fumanal (1985) y Martínez Goytre *et al* (1986 y 1987a). Otros trabajos a destacar en este sentido son los de Benito (1994 y 1996), Benito *et al* (1996a y 1996b) y Kochel y Baker (1982). Desde una perspectiva histórica

y geoarqueológica tenemos algunos trabajos como los de *Martínez Goytre et al* (1996) en el río Júcar, *Macklin y Passmore* (1995), o los de *Barriendos Vallvé y Pomes Vives* (1997) que realizan una reconstrucción paleoambiental a partir de datos históricos de dos cuencas barcelonesas.

Otra temática muy importante en el estudio de inundaciones es el análisis de los factores climáticos que influyen en la generación de precipitaciones intensas como causa principal de las inundaciones, muchos de ellos localizados en el levante español. En este sentido tenemos los trabajos de *De Pedraza*, 1983; *López Gómez*, 1983; *Miró Granada*, 1983; *Ventura*, 1987; *Hirschboeck*, 1988; *Llasat y Puigcerver*, 1989 y 1994; *Llasat*, 1991; *Pavese et al*, 1992; *López Bermúdez y Romero*, 1993; *Knox*, 1993; *CEDEX*, 1994b; *Olcina*, 1994; *Rodríguez et al*, 1994; *Barriendos Vallvé*, 1995; *Llasat et al*, 1996; *Marcos Valiente*, 1997; *Barriendos Vallvé y Martín Vide*, 1998; *Llasat*, 1998; *Fernández*, 1999; *Capel Molina*, 1999a y 1999b; *Morales Rodríguez y Ortega Villazán*, 2000; *González López y Lorente García*, 2002. Otra perspectiva son los trabajos que analizan la evolución histórica de estos factores climáticos (*Couchoud Sebastia*, 1965; *Barriendos Vallvé*, 1997a y 1997b; *Benito et al*, 1994; *Ortega et al*, 1999; *Ortega y Garzón*, 2002; *Potenciano y Garzón*, 2000, 2001 y 2002), la influencia del cambio climático en el aumento del riesgo de inundaciones (*Milly et al*, 2002) o la paleoclimatología (*Calvo et al*, 1983; *Jiménez Ballesta et al*, 1986; *López Vera*, 1986). En *Thorndycraft et al* (2003) se resumen algunas de las líneas de investigación que se siguen actualmente en el análisis del riesgo de inundaciones, tanto desde el punto de vista paleohidrológico, como desde el estudio de datos históricos y de variabilidad climática.

En el caso de estudios concretos de cuencas del Centro Peninsular con problemática de inundaciones y análisis de los caudales máximos de avenida aplicando diversas metodologías, tenemos los trabajos de *Capel* (1974) en el sureste peninsular; *Miró Granada* (1976) en el Mediterráneo occidental; *Rubio et al* (1983), *Martínez Goytre et al* (1987b y 1987c), *CEDEX* (1988), *Bosh y Julia* (1996) y *Martínez Goytre y Garzón* (1996) en el Júcar; *Garzón et al* (1990) y *Garzón et al* (1992) en el Jarama; *Potenciano* (1995) y *Potenciano et al* (1996 y 1998) en la cuenca alta del Guadiana; *Camarasa y García Abad* (1996) en Almoguera-Guadalajara; *Díez y Sanz* (1997) y *Díez Herrero* (2001) en la cuenca del río Arberche; *Ortega y Garzón* (1997) y *Ortega et al* (2000) en la cuenca baja del Guadiana.

En cuanto a los métodos estocásticos para modelación de series temporales climáticas e hidrológicas y otros modelos estadísticos aplicados al análisis hidrológico, alguno de los cuales han sido aplicados en esta Tesis, podemos destacar los trabajos de *Thomas y Fiering* (1962), *Yevjevich* (1963), *Matalas* (1967), *Carlson* (1970), *O'Connell* (1971) y *Matalas y Wallis* (1971), donde se desarrollan modelos autoregresivos simples, autoregresivos de medias móviles (AR y ARMA) y autoregresivos de medias móviles con variables exógenas (ARMAX), o los trabajos de *Box y Jenkins* (1970), *Francés et al* (1972), *Yakowitz* (1973), *WMO* (1973a y 1973b), *Bernaldo de Quirós*

*et al (1974), Cercos Pérez (1974), Cuenca Bartolomé (1974), Kelman (1977), Lettenmaier (1977), Salas et al (1980), Feldman (1981), Singh (1982), Cueva Lobelle (inédito), William y Wei (1989), Ferrer (1992), Sánchez Martín (1995), Swan y Sandilands (1995), Estrela y Ferrer Polo (1997), Afifi y Clark (1998), Woodman (1999), Matías et al (2001a y 2001b), Aldana Valverde et al (2002), Potenciano et al (2003).* Se mencionan también aquí algunos trabajos en los que se han ensayado modelos estadísticos e hidrológicos, que si bien se han aplicado en cuencas de Sudamérica y México, han servido de apoyo también para el desarrollo de algunos métodos de esta Tesis, como son los trabajos de *Escalante y Reyes, 1998, Flores y Aranda, 1998 y Zucarelli y Morresi, 2000.*

## 2. CLIMATOLOGÍA

### 2.1. EL MARCO CLIMÁTICO REGIONAL

La Península Ibérica, situada en la zona meridional de las consideradas latitudes medias (entre los 36° y los 44° de latitud norte), presenta una transición desde los climas semidesérticos y subtropicales de su parte sur, al clima templado oceánico más septentrional.

En la latitud en la que se encuentra la Península, la mayor parte del año dominan los flujos atmosféricos del oeste, por lo que debería prevalecer el clima el carácter oceánico Atlántico. Esto no es así exactamente, debido a la elevada altitud media del interior peninsular (superior a los 500 m.) y de las montañas periféricas, que compartimentan el levante y sur peninsular, con influencia del clima mediterráneo, de características diferentes al dominio oceánico. Los relieves montañosos aíslan el clima de esta parte este y sur de España de la influencia húmeda de los vientos atlánticos que entran por el oeste, dándole un carácter más seco.

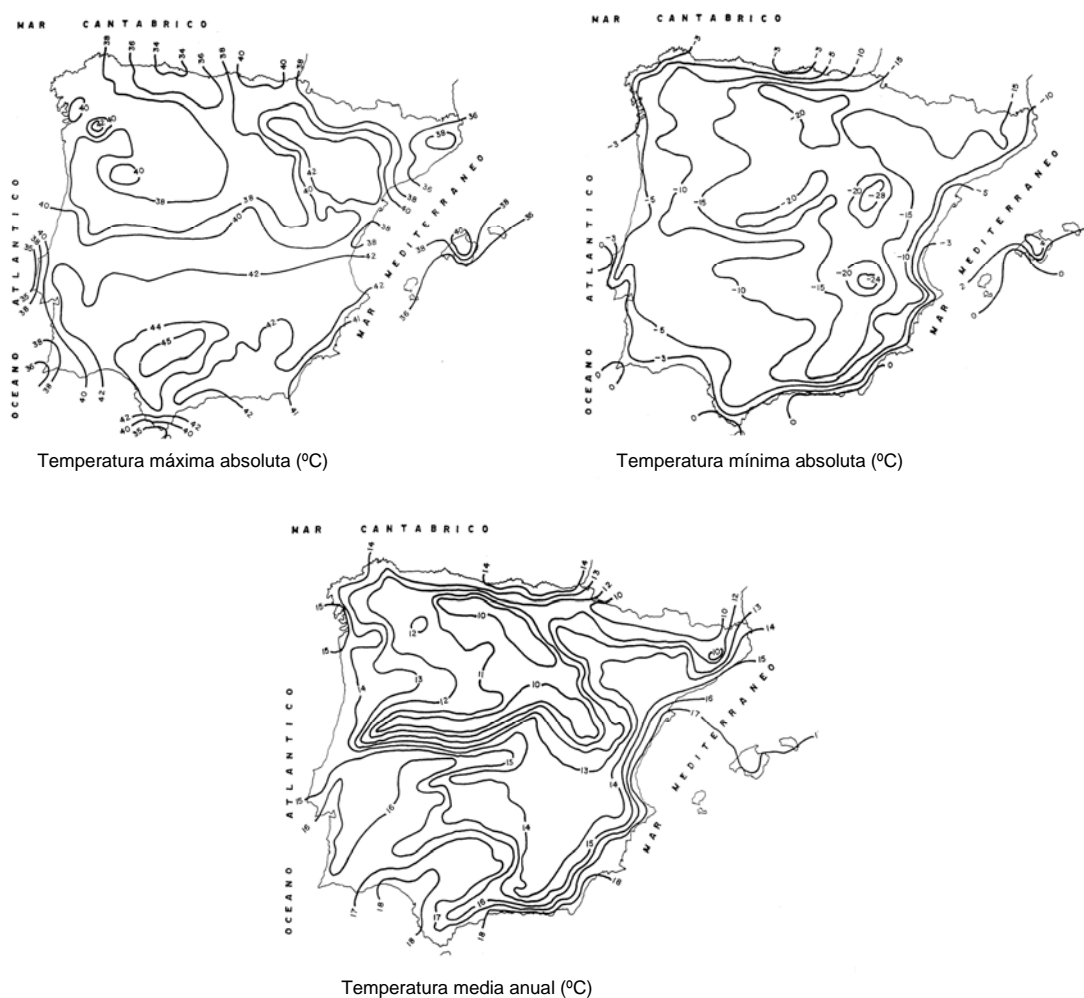
En general, la Península se puede considerar dividida en cuatro áreas climáticas (*Tabla 2.1*): templada oceánica (al norte y oeste), templada continental (en las zonas interiores), mediterránea (al este y sur) y de montaña (*Capel Molina, 1981 y 2000; Rubio-Recio, 1998; Lines Escardo, 1979*).

Zonas de la Península	Clima	T <sup>a</sup> media anual	T <sup>a</sup> máximas- mínimas	T <sup>a</sup> oscilación intraanual	Precipitación media Anual	Homogeneidad anual	nieve
Costas norte y noroeste Oeste peninsular	Templado oceánico	10 °C	25 °C máx.	11-12 °C	>1000 mm.	Sí	frecuente
Costas este y sur	Mediterráneo	14-19 °C	30-40 °C máx.	11-15 °C	<300-500 mm.	No	Cataluña
Submesetas norte y sur Valle del Ebro Interior valle Guadalquivir	Templado continental	10-16 °C	-10 °C min. 40 °C máx.	>16-21 °C	400-600 mm.	No	submeseta norte
Relieves montañosos	Clima de montaña	hasta 25 °C oscilación diaria	-2 °C min.				frecuente

**Tabla 2.1-** Características de los climas peninsulares (*Rubio-Recio, 1998*)

El centro-sur peninsular es una zona de transición climática constituida por parte de la submeseta sur y los núcleos húmedos que la enmarcan: los Montes de Toledo, el Sistema Central y las estribaciones meridionales de la cordillera Ibérica. En esta zona de la Península, domina el clima templado continental con influencia mediterránea.

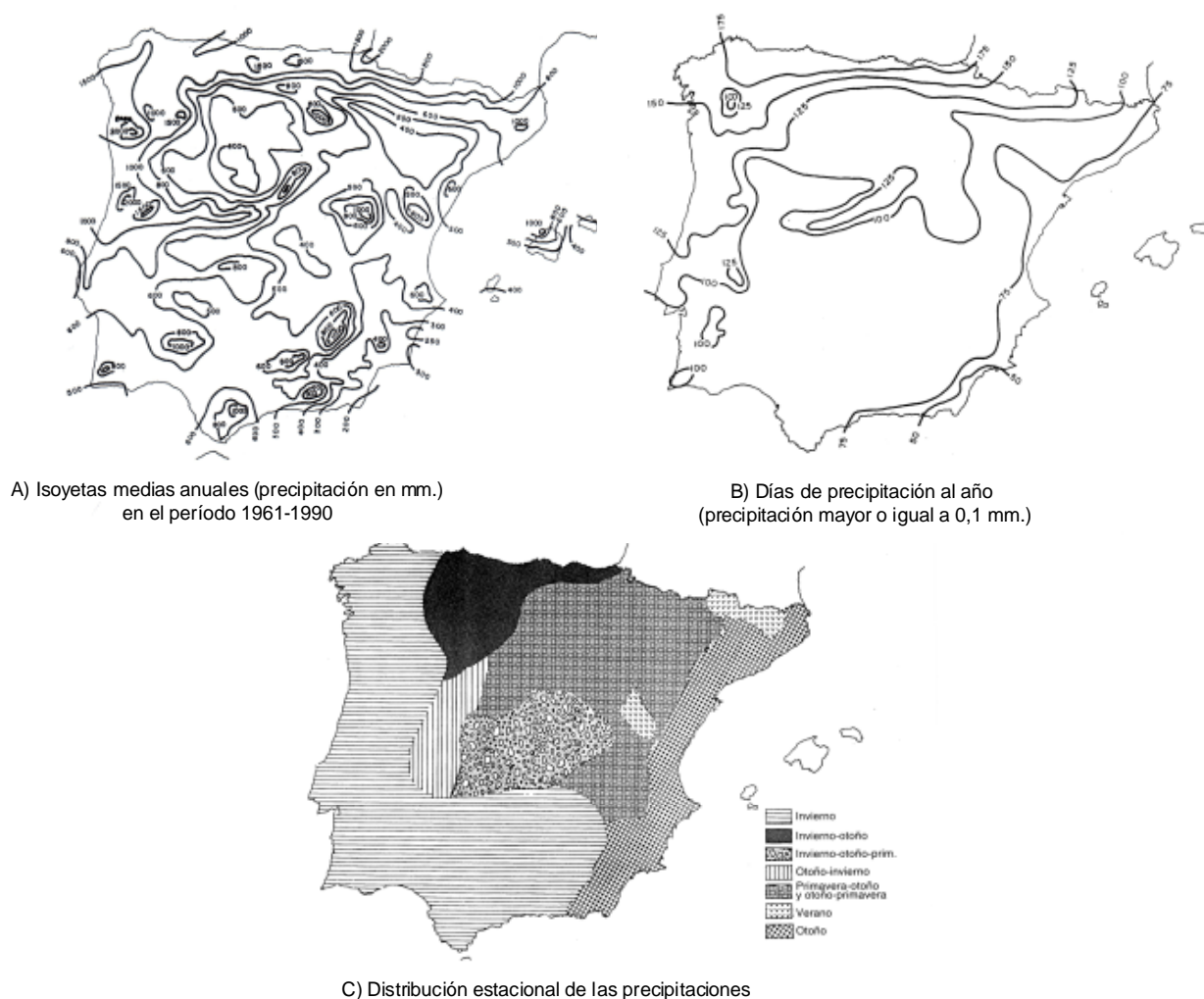
El clima templado continental se caracteriza por temperaturas medias anuales que oscilan desde los 10 hasta los 16°C. Las oscilaciones térmicas intraanuales son grandes (entre 16 y 21°C) y los valores extremos de temperatura se distancian bastante de unos puntos a otros, pudiéndose alcanzar más de 40°C de máxima en algunas zonas (*Figura 2.1*). El volumen medio de precipitación anual oscila entre los 400 y 600 mm. (*Figura 2.2*) aunque, como en el caso de la temperatura, las lluvias presentan una alta oscilación intraanual. La variabilidad interanual también es importante, uno de cada diez años registra precipitaciones muy por encima de la media (*Rubio-Recio, 1998*).



**Figura 2.1-** Isotermas en la Península Ibérica (Fuente: Capel Molina, 2000)

El clima mediterráneo se caracteriza por temperaturas medias anuales más altas (entre 14 y 19°C) alcanzando máximas también de 30-40°C, aunque las oscilaciones intraanuales son menores (11-15°C). Las precipitaciones medias anuales en este clima oscilan entre los 300 mm y los 500 mm., siendo más bajas que en el clima templado continental pero con igual variabilidad intraanual, y no son frecuentes los episodios prolongados de precipitación.

Las cuencas fluviales en las que se centra este estudio (Tajo, Guadiana, Segura y Júcar) se encuentran ubicadas dentro de la zona centro-sur de la Península. En general, y aunque las cabeceras de las cuatro cuencas comparten características climáticas, debido a su proximidad geográfica, las cuencas occidentales (Tajo y Guadiana) están influenciadas por un clima continental, mientras que el Júcar y el Segura, que vierten hacia el este, tienen más influencia del clima mediterráneo.



**Figura 2.2-** Precipitaciones en la Península Ibérica (Fuente: *Capel Molina, 2000*)

La mayor parte de la cuenca del Tajo se encuentra dentro de la zona climática templada continental, pero el sector oriental de la cuenca presenta características de transición hacia el clima mediterráneo, que se traduce por ejemplo en un aumento de las precipitaciones otoñales (*Figura 2.2 C*).

Las máximas lluvias se registran en los núcleos montañosos del Sistema Central (800-2000 mm.), Montes de Toledo (800-1000 mm.) y en la Cordillera Ibérica (800-1500 mm.), y se presenta un núcleo árido (300 mm.) en los Altos de Baraona, en el límite con la cuenca del Duero (*Capel Molina, 1981*). La precipitación media anual no supera los 400 mm. En cuanto a la humedad relativa, en esta cuenca se registra una media anual del 56%, con un máximo en Diciembre (82-86%) y un mínimo en Julio-Agosto en la provincia de Cáceres (33-35%). En invierno se localizan anticiclones entorno a los 1023 milibares de presión atmosférica y en verano se instalan borrascas con presiones mínimas de 1015 milibares. En general, la cuenca registra temperaturas medias anuales entre los 14° y 15°C, con mínimas en Enero de 5-6°C y máximas en Julio de 25-26°C.

La cuenca del Guadiana está dentro de la zona climática templada continental y, al igual que en la cuenca del Tajo, su parte más oriental constituye una zona de transición hacia características climáticas mediterráneas. La cabecera de la cuenca del Guadiana constituye un núcleo árido y presenta las máximas precipitaciones en los Montes de Toledo (800-1000 mm). La precipitación media anual en esta cuenca es de 440 mm. La humedad relativa media anual está entorno al 62%, con un máximo en los meses de invierno del 80% y un mínimo del 42% en Julio y Agosto, ambos límites de humedad se registran en la provincia de Badajoz. Al igual que en la cuenca del Tajo, se localizan anticiclones de aproximadamente 1023 milibares de presión en invierno y borrascas con presiones mínimas de 1015 milibares en verano. La cuenca registra temperaturas medias anuales de 15°C.

En ambas cuencas, la del Tajo y la del Guadiana, los valores de evapotranspiración son altos, lo que unido a las altas temperaturas estivales, favorece la acumulación de agua en la atmósfera durante el verano y comienzo del otoño, produciéndose precipitaciones frecuentes a partir de Octubre o Noviembre. También en estas cuencas se dan en ocasiones episodios tormentosos muy intensos a finales de verano, producidos por mecanismos convectivos similares a los que provocan las lluvias torrenciales de levante.

La cuenca del Júcar presenta temperaturas medias anuales entre 12°C y 17°C, con unas mínimas en Enero de 10°C y máximas en Agosto de 25°C. Esta cuenca tiene un núcleo húmedo al sur de la provincia de Valencia, donde se registran precipitaciones máximas entre los 800 y 1000 mm..



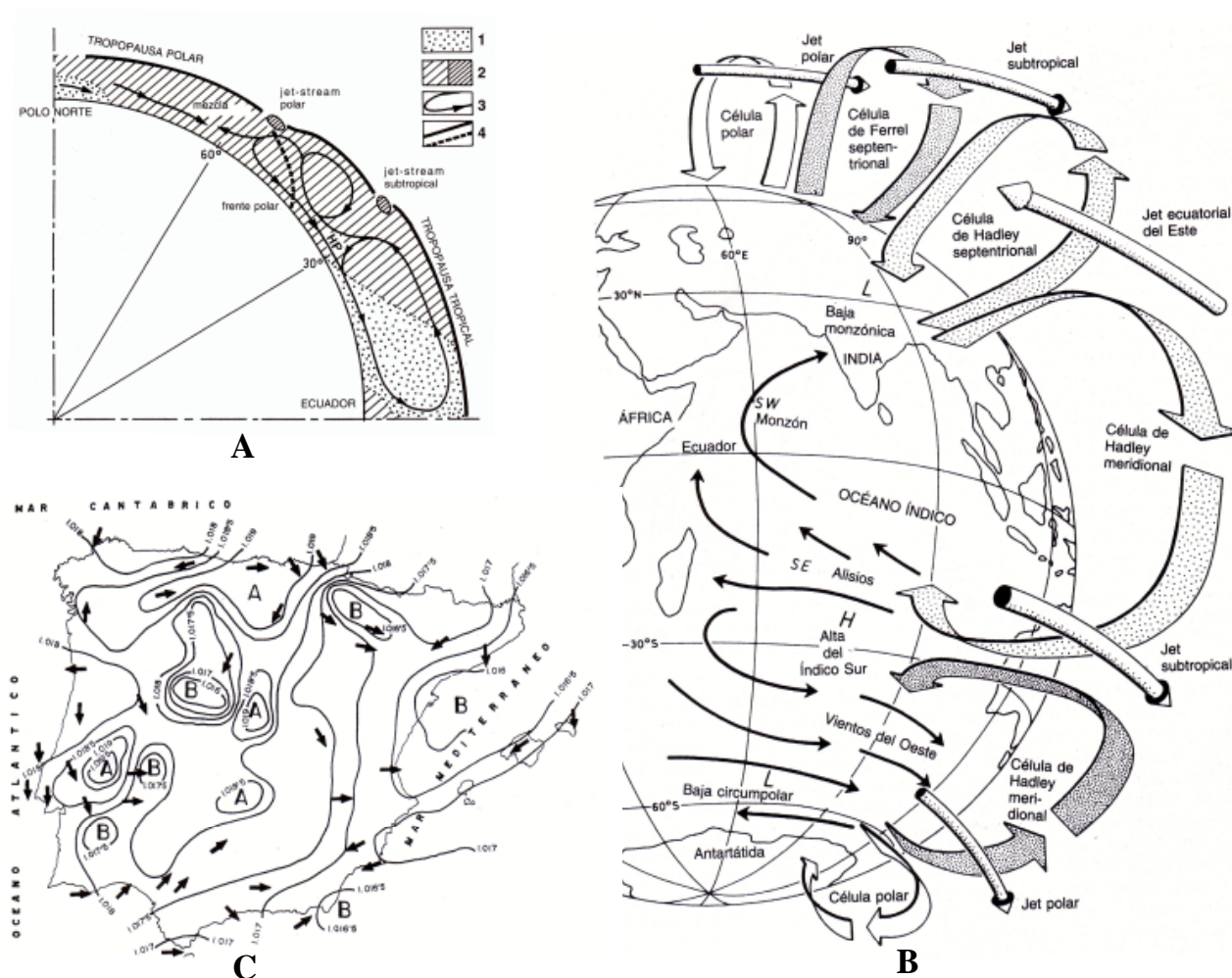
La precipitación media anual de la cuenca es de 387 mm. La humedad relativa media anual es del 55%, registrándose los máximos valores en otoño e invierno y los mínimos en la provincia de Cuenca y en los meses de Junio y Julio.

La cuenca del Segura registra temperaturas medias anuales entre los 13°C y los 18°C. Las máximas precipitaciones corresponden al núcleo húmedo de la Sierra del Segura, con valores entre 1150 y 1224 mm. y las mínimas se registran en el núcleo árido de Murcia y sur de las provincias de Alicante y Albacete, con precipitaciones no mayores de 300 mm. La cuenca del Segura es una de las zonas de España con menor pluviometría media anual, entorno a los 335 mm. La humedad relativa media en esta cuenca es del 65%, con mínimos en primavera y comienzos del verano y máximos en otoño e invierno. Tanto en la cuenca del Júcar como en la del Segura, y en general en todo el levante peninsular, las máximas presiones atmosféricas oscilan entre los 1020 y 1021 milibares, y en verano se instalan borrascas con presiones mínimas de 1015 milibares.

## **2.2. TIPOS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA Y MECANISMOS DE GENERACIÓN DE PRECIPITACIONES**

Las latitudes medias, entre 30 y 40° de latitud, presentan características de clima de transición dominado por vientos del oeste, perturbaciones del frente polar en superficie y la Corriente del Chorro en altura (*Figura 2.3*). Las situaciones atmosféricas varían dependiendo de las fachadas continentales y del relieve. En la fachada occidental, dominan los veranos secos y cálidos y los inviernos lluviosos y templados, y está afectada alternativamente por las borrascas del frente polar, que favorecen el aumento de las precipitaciones, y el anticiclón subtropical oceánico causante del aumento de la temperatura y de la escasez de. Lluvias. En verano la borrasca del frente polar se traslada a latitudes más altas y se instala un anticiclón, que aunque trae aire marítimo húmedo, es estable y descendente por lo que no provoca lluvias a no ser que tropiece con un obstáculo montañoso. Entre el otoño y la primavera, el anticiclón subtropical se retira y prevalecen los vientos del oeste y el frente polar provocando lluvias y tiempo inestable en la vertiente oeste de la Península.

En la fachada oriental domina un clima de transición entre el tropical húmedo y el continental de latitudes medias, con veranos más lluviosos debido a los vientos alisios procedentes del anticiclón oceánico, que llegan inestables y cargados de humedad a las costas orientales. Los inviernos en esta fachada son menos lluviosos y las precipitaciones se deben al frente polar y a los vientos procedentes del Sur.



**Figura 2.3-** Esquemas de circulación general de la atmósfera (A y B) e isobaras medias y vientos anuales en la Península Ibérica (C). Fuentes: *Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997; Barry y Chorley, 1999; Capel Molina, 2000*

Los tipos de circulación atmosférica que afectan a la Península Ibérica pueden agruparse en dos amplias categorías: la circulación en régimen ciclónico (40,8%) y los tipos anticiclónicos (53,5%), dominados por depresiones y núcleos de altas presiones atmosféricas respectivamente. En cada uno de estos grupos se diferencian varias situaciones atmosféricas, dependiendo de las distintas direcciones de circulación tanto en altura como en superficie (*Tabla 2.2*)

En general, la variabilidad estacional del clima peninsular, con veranos cálidos y secos e inviernos templados y relativamente húmedos, está controlada por dos sistemas principales: el anticiclón subtropical de las Azores durante el verano, que provoca un descenso general de las precipitaciones, y en invierno, los vientos del oeste asociados con la invasión de frentes fríos atlánticos y europeos que favorecen las lluvias generalizadas (*Capel Molina, 1999a y 2000; Benito et al, 1996a*). Pero los sistemas que favorecen las lluvias a lo largo del año en la Península son varios, y no se presentan solo en invierno.

SISTEMAS CICLÓNICOS		SISTEMAS ANTICICLÓNICOS
Sistemas de circulación rápida	Flujos del norte (N/N)*	Situación atmosférica asociada a anticiclón oceánico frío
	Flujos del noroeste (NW/NW)	
	Flujos del oeste (W/W)	Situación atmosférica asociada a anticiclón oceánico cálido
Sistemas de circulación celular	Flujos del noreste (NE/NE)	Situación atmosférica asociada a anticiclón continental centroeuropeo
	Flujos del noreste mixto (NE/SW)	
	Tipo de levante (E/gota)	Situación atmosférica asociada a alta presión continental ibérica
	Pantano barométrico (P/gota)	Situación atmosférica asociada a la baja térmica peninsular o del norte de África
Sistemas de circulación híbrida	Flujos del suroeste (SW/SW)	

**Tabla 2.2.-** Tipos de circulación atmosférica en la Península Ibérica (según *Capel Molina, 2000*)

\* Cada tipo de sistema de circulación va acompañado de una indicación del tipo (N/N) que informa sobre la combinación de “tipos de circulación en superficie / tipo de circulación en altura”, que caracterizan cada sistema, por ejemplo (E/gota) significaría circulación del este en superficie y gota fría en altura, o en este otro ejemplo (P/gota) significa pantano barométrico en superficie y gota fría en altura

Entre los sistemas o modelos de circulación atmosférica descritos en la *Tabla 2.2*, son los de tipo ciclónico los principales responsables del desarrollo de situaciones de inestabilidad que favorecen las precipitaciones (*Capel Molina, 1981, 1999a y 2000; De Pedraza, 1983*). Estos mecanismos de precipitación tienen una relación estrecha con las ondulaciones del Jet polar (*Figura 2.3 A y B*) y con las variaciones en su régimen de circulación.

La capacidad de estos mecanismos para producir lluvia va a depender de las características del Jet polar asociado, de la extensión ocupada por el régimen barométrico en superficie, del tipo de circulación en altura, del origen de la masa de aire canalizada y del trayecto geográfico descrito. Teniendo en cuenta estas consideraciones, los mecanismos de precipitación en la Península se describen a continuación.

### 2.2.1. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN RÁPIDA

En este tipo de mecanismos están incluidos los flujos del norte (N/N), de noroeste (NW/NW) y del oeste (W/W). En estos casos el Jet polar afecta a la Península con amplias ondulaciones o en régimen rápido zonal.

Al mismo tiempo que un amplio territorio de la Península está ocupado por las bajas presiones, llegan masas de aire marítimo en altura y superficie procedentes de puntos alejados del Atlántico. Esta situación provoca lluvias generalizadas en distintos puntos de la Península.

*Flujos del norte (N/N)*: asociados a sistemas ciclónicos procedentes del norte de Europa, presentan puntos de baja presión al sur de Escandinavia, Francia y Mediterráneo occidental. Estos flujos viajan hacia el sur y los niveles más bajos de esta masa de aire frío aumentan su temperatura, fundamentalmente al ponerse en contacto con la superficie del mar, más cálida. La entrada de estos flujos por el norte de la Península origina una alta inestabilidad atmosférica, favoreciendo las precipitaciones en esta zona. Los flujos del norte llegan a la Península a comienzos del invierno y finales de la primavera y afectan principalmente a Galicia, País Vasco, Submeseta norte y Valle del Ebro.

*Flujos del oeste (W/W) y noroeste (NW/NW)*: este tipo de circulación está asociada a flujos zonales, donde las perturbaciones atlánticas o sistemas frontales son transportadas por vientos del W y NW y pueden afectar a la mayor parte de la Península, atravesándola de W a E. Este sistema es responsable de la mayor parte de las precipitaciones que afectan a Portugal y España, así como de un gran número de inundaciones (Olcina Cantos, 1994; Benito et al, 1996a; Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997). La trayectoria de estos flujos zonales, bajo distintos regímenes ciclónicos, pueden introducir cambios en los patrones de lluvia de la Península, de hecho, cuando se da un alto índice de circulación zonal sobre el Atlántico (por encima de los 60° N de latitud), las depresiones frías salen de la Península y solo la parte norte de España se ve afectada por el sector de aire frío, generando lluvias en Galicia y Cantabria. Se produce una situación diferente cuando los flujos zonales provienen de latitudes más bajas (40° y 50° N), en este caso la Península se ve afectada por el paso sucesivo de sistemas frontales hacia el este, responsables de precipitaciones continuas y persistentes, que afectan tanto a áreas del norte de la Península como a las cuencas atlánticas (Tajo, Duero, Guadiana y Guadalquivir).

### 2.2.2. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN CELULAR

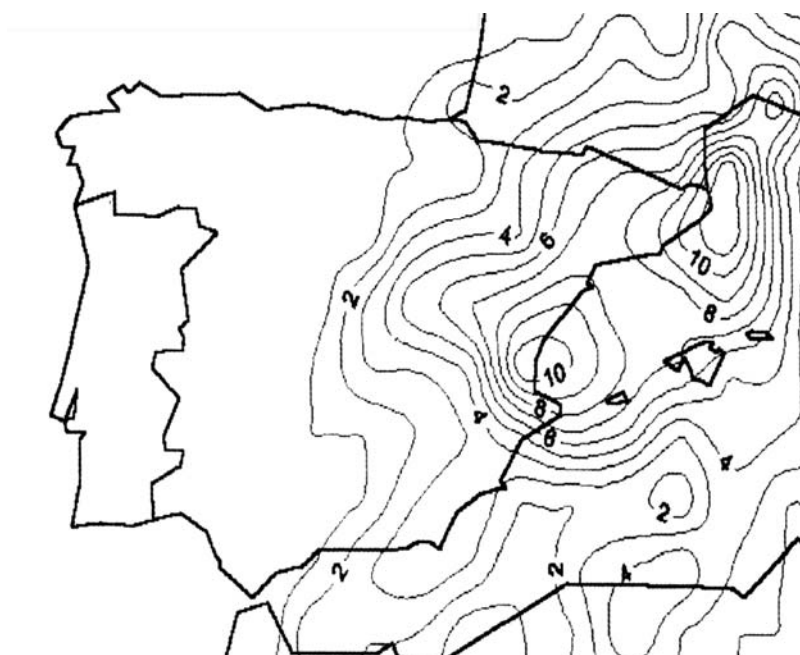
Dentro de estos mecanismos están los modelos de circulación del noreste (NE/NE), del noreste mixto (NE/SW), tipo levante (E/gota) y pantano barométrico (P/gota). En este caso el jet polar puede entrar en la Península como un ramal aislado de la “corriente en chorro” del suroeste, o como una depresión fría o “gota fría” en altura. A esto se une una reducción del área afectada por las bajas presiones en superficie. En las capas más bajas de la atmósfera las masas de aire proceden del norte de África y de áreas próximas de Europa continental y del Mediterráneo.

En niveles más altos las masas de aire son de origen polar. Estas masas de aire describen trayectorias continentales (nordeste) o marítimas (este). La componente marítima les otorga una alta capacidad de producir lluvia aunque pierden parte de esta capacidad al atravesar el Sistema Ibérico y la zona sur de las Béticas.

*Flujos del noreste (NE/NE) y noreste mixto (NE/SW):* Estos sistemas tienen su origen en la invasión de una masa de aire continental polar, con celda de baja presión en Siberia y dirección NE-SW, junto con el desarrollo de una depresión fría que afecta al SW de Europa. Esta situación es la responsable de la bajada general de la temperatura, así como de las nevadas y lluvias que afectan a las principales cadenas montañosas de la Península (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Montes de Toledo, Sierra Morena y Béticas) y a parte de Galicia, Cantabria, a las cabeceras de las cuencas del Duero y Ebro.

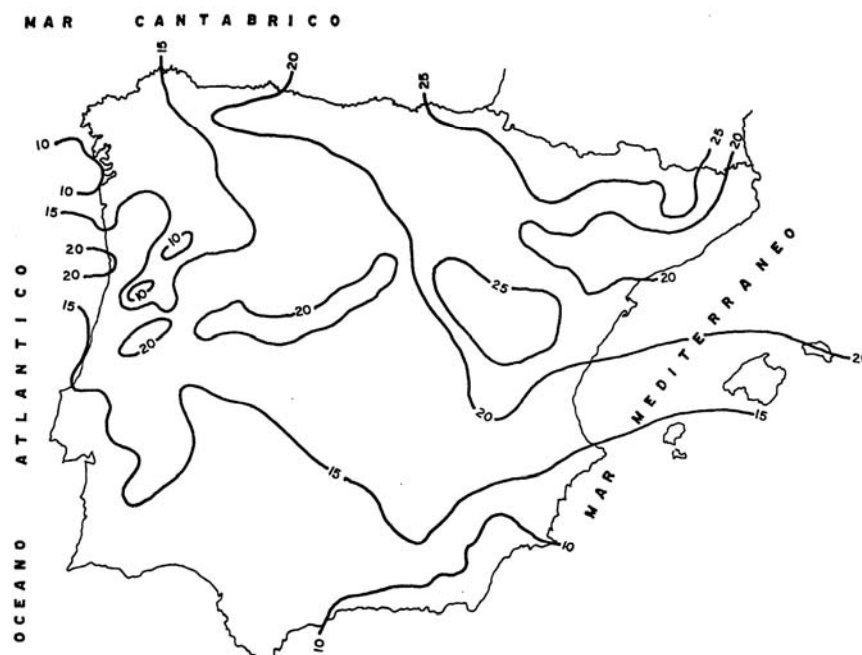
*Depresiones frías en altura (circulación tipo de levante (E/gota) y pantanos barométricos (P/gota):* Una depresión fría se define como una celda ciclónica resultante de la advección de masas de aire polar o ártico y pueden ser identificadas por su altitud y baja presión (500 hPa). Esta situación atmosférica influye en la distribución de lluvias e inundaciones en distintos puntos de la Península (Llasat, 1991). Un 25%-38% de estas depresiones frías se producen en primavera y verano y un 17%-19% en otoño e invierno (para el período entre 1974 y 1983). La mayor parte de estas depresiones afectan al norte y oeste peninsular, sobre todo a Galicia, al centro de Portugal y algún área de la Meseta, aunque también pueden influir en las situaciones de inestabilidad que generan lluvias torrenciales en el levante y SE peninsular. En este caso las celdas de depresión fría en altura coinciden con la entrada en la Península de flujos cálidos tropicales y subtropicales en superficie, procedentes del S-SE (Sahara y depresión de Argel) y NE, creándose una fuerte inestabilidad termodinámica y desarrollándose núcleos convectivos (Figura 2.4) que favorecen las altas lluvias que afectan a estas zonas del levante y SE peninsular principalmente a finales del verano y principios del otoño.

El aumento de temperatura que durante el verano sufre la superficie de la Península y las capas de aire más baja, favorecen también estas situaciones de inestabilidad termodinámica, creándose un núcleo de baja presión relativa en superficie que unido a ciertas condiciones de humedad y topografía y a la coexistencia de la depresión fría en altura, originan tormentas y lluvias torrenciales (Figura 2.5).



**Figura 2.4-** Número de sistemas convectivos de mesoescala detectados en la Península Ibérica durante los meses de otoño entre los años 1989 y 1993 (modificada de *Capel Molina, 2000*)

Las depresiones frías son más frecuentes en años secos relacionados con cambios en la circulación atmosférica, coincidiendo con una disminución de la circulación zonal y de las lluvias generadas por los mecanismos frontales consiguientes.



**Figura 2.5-** Días de tormenta al año en la Península (Fuente: *Capel Molina, 2000*)

### 2.2.3. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN HÍBRIDOS

Dentro de estos mecanismos están los flujos del suroeste (SW/SW) con el jet polar de circulación muy lenta y extensión superficial de las bajas presiones algo mayor que en los casos de circulación celular pero menor que en los mecanismos de circulación rápida. En este caso, las masas de aire en altura son de origen polar, y en superficie proceden de altas latitudes subpolares o también polares. Estas masas de aire describen un arco sobre el Atlántico norte y alcanzan la Península por el suroeste como aire polar marítimo de retorno. Las largas trayectorias descritas por estas masas de aire, junto con su carácter marítimo, definen su capacidad de producir fuertes lluvias.

*Flujos del suroeste (SW/SW):* la entrada de estos flujos en la Península se ve favorecida por un cambio en la dirección de los vientos zonales del oeste, debido a la instalación de una célula de alta presión sobre Escandinavia y Europa del este. Este cambio de dirección de los vientos del oeste favorece la invasión de masas de aire marítimo tropical, procedentes del sur, sobre la parte SE de Europa occidental. Al mismo tiempo se desarrolla en la zona oeste de Irlanda una célula de baja presión resultante de la invasión de masas de aire frío marítimo (polar o ártico). Esta celda ciclónica puede llegar a latitudes bajas afectando al NW de Galicia y manteniéndose estancada un período de tiempo durante el cual sucesivos sistemas frontales de NE cruzan la Península Ibérica, afectando a su parte sur, al área mediterránea y áreas prepirenaicas de Aragón y Cataluña

En general, la distribución anual de las precipitaciones en el centro-sur peninsular muestra una relación predominante con el sistema de circulación SW/SW, seguidos por los sistemas de circulación W/W y los sistemas asociados a circulación anticiclónica. En las provincias más orientales, como Cuenca y Albacete, hay una mayor relación entre el registro de precipitaciones y situaciones de circulación asociadas a gota fría en altura (E/gota y P/gota). En la distribución estacional de las precipitaciones se observa una variación mayor de estas relaciones.

En cuanto a esta variabilidad estacional de las precipitaciones en el centro-sur peninsular con relación a las situaciones atmosféricas descritas, en *invierno* predominan las precipitaciones controladas por circulación W/W y NW, excepto en Albacete, donde están controladas principalmente por circulación del SW/SW, y en Badajoz donde son muy importantes las precipitaciones relacionadas con circulación del NE/NE. Los sistemas de circulación invernales W/W y NW favorecen las precipitaciones en las cuencas del Tajo, Guadiana, Duero y Guadalquivir. En *primavera* y finales del invierno es más importante la circulación SW/SW como mecanismo generador de lluvia, aunque cobran también importancia los tipos NE/SW y en las provincias más orientales los sistemas relacionados con gota fría. En *verano*, en cambio, estos sistemas asociados a gota fría son más importantes en las provincias de la zona centro y

occidental. El resto siguen presentando precipitaciones asociadas a circulación W/W y NW/NW. En *otoño* predominan las lluvias asociadas a sistemas de circulación SW/SW y a sistemas asociados a gota fría. En la zona occidental se producen también precipitaciones en relación con la circulación NE/NE. Los flujos del SW y situaciones asociadas a gota fría, que se desarrollan principalmente en primavera y otoño afectan sobre todo a la franja mediterránea de la Península.

#### 2.2.4. MECANISMOS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADORES DE LLUVIAS TORRENCIALES

Dentro de los mecanismos generadores de precipitación descritos, existen una serie de situaciones especiales que favorecen las lluvias excepcionalmente altas o torrenciales, relacionadas con la ocurrencia de inundaciones en distintos puntos de la Península. Las más frecuentes de estas situaciones son los sistemas convectivos de mesoescala (*Figura 2.4*), los regímenes de levante activos y las depresiones frías (*Olcina Cantos, 1994; Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997; Fernández García, 1996; Toharia Cortés, 1984*). La entrada a distintas alturas del anticiclón subtropical de las Azores por el W peninsular también es una situación que favorece las precipitaciones.

La nubosidad convectiva, con alta acumulación de lluvias en períodos cortos de tiempo, afecta sobre todo a la franja mediterránea. En los mecanismos convectivos convergen la instalación de una depresión fría en altitud y la llegada de masas de aire cálido desde África o desde el mar Mediterráneo, como ya se ha visto. Las lluvias torrenciales en estas situaciones se ven favorecidas por la orografía, en el caso de la zona mediterránea, por la existencia de relieves próximos a la costa, que retienen la nubosidad formada gracias a una rápida evaporación del agua del mar. En la vertiente mediterránea de la Península los fenómenos convectivos se suelen producir en otoño.

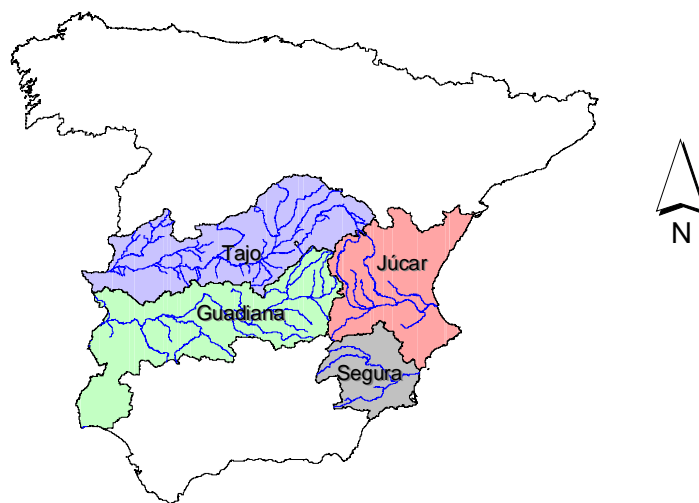
En pequeñas áreas del interior peninsular, relacionadas directamente con la proximidad de relieves montañosos, se acumula también nubosidad convectiva. Estas zonas, que afectan a las cuencas del Tajo y del Guadiana, son la franja en torno al Sistema Central, hasta la comarca extremeña de La Vera; la comarca de La Serena, al oeste de los Montes de Toledo; las áreas de Cuenca y Teruel, próximas al Sistema Ibérico y la Comunidad de Madrid, limitada por el Sistema Central al N-NE. Por tanto, en la vertiente atlántica de la Península y núcleos centrales interiores, aunque la mayoría de precipitaciones son generadas por la entrada de frentes fríos atlánticos, también estos conjuntos convectivos de mesoescala pueden generar lluvias torrenciales, sobre todo a finales del verano y primavera.



### 3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CENTRO-SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En las cuencas del centro de la Península Ibérica (*Figura 3.1*) existe un gran volumen de información histórica sobre inundaciones y crecidas ocurridas desde la época de ocupación romana. Las cuencas mediterráneas (Júcar y Segura) están clasificadas como de alto riesgo de inundaciones (*Ayala-Carcedo y Olcina Cantos, 2002; ITGE, 1988a*). No ocurre lo mismo con las cuencas del Tajo y del Guadiana. Sin embargo, en estas últimas existe un registro importante de ocurrencia de avenidas históricas, que aunque en la mayoría de los casos no se pueden considerar de extrema magnitud, sí han tenido en algunas zonas efectos catastróficos, provocando numerosas víctimas y daños materiales.



**Figura 3.1-** Esquema de situación de las cuencas fluviales del centro-sur peninsular

El objetivo de este estudio es analizar, a partir de la información histórica disponible, la ocurrencia de inundaciones en el centro peninsular desde el punto de vista de su evolución espacial y temporal y de forma individualizada, conociendo las causas, magnitud y tipología de cada evento. Este análisis exhaustivo de los datos históricos servirá de base para el resto del estudio, y permitirá establecer las primeras relaciones entre las cuencas atlánticas y mediterráneas, con relación a la generación de inundaciones.

Para ello, se han recopilado y tratado los datos históricos de inundaciones en las cuencas del Tajo, Guadiana, Júcar y Segura, con base a la información disponible extraída fundamentalmente de los catálogos y mapas de riesgos potenciales de la *Comisión Nacional de Protección Civil* (1983 y 1985), del MOPU (1993), del ITGE (1988a) y de diversas fuentes bibliográficas, como *Camarasa et al* (1996), *Font Tullot* (1983 y 1988), *Martínez y Garzón* (1996), *Domínguez Tendero* (1991), etc. Algunos de los datos extraídos de estas fuentes han sido contrastados y completados por información de archivo, recortes de prensa, etc. (*ver apartado 9.1 de la Bibliografía*).

Se ha analizado la distribución temporal de cada inundación, teniendo en cuenta la fecha de registro (mes y año) y se han clasificado los eventos dependiendo de la estación del año en que ocurrieron. Para esta clasificación estacional, se han considerado inundaciones de invierno las registradas en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo; inundaciones de primavera las ocurridas en Abril, Mayo y Junio; inundaciones de verano las registradas en Julio, Agosto y principios de Septiembre y, por último, inundaciones de otoño las ocurridas a finales de Septiembre, y en los meses de Octubre y Noviembre.

Así mismo, se ha determinado la distribución espacial de las inundaciones, dependiendo de la parte de la cuenca que se ha visto afectada. Para esta distribución se ha considerado como cuenca alta del Tajo, la mitad superior de la cuenca completa, desde el nacimiento del río Tajo hasta el río Alberche. Como cuenca alta del Guadiana, se ha considerado desde su cabecera hasta el río Bullaque y Jabalón (*Figura 3.2*).



**Figura 3.2-** Esquema de situación de las cuencas altas del Tajo y del Guadiana

Se ha establecido también su magnitud, con base a las descripciones históricas de daños producidos, la existencia o no de víctimas mortales, el caudal y la altura y extensión de la lámina de agua registrados en cada evento, la destrucción parcial o total de edificios, puentes, infraestructuras, etc. Para esta clasificación se han seguido algunos de los criterios marcados por otros autores, como *Barriendos et al (2003)*. Así se ha considerado una inundación ordinaria, o de *magnitud baja a moderada*, aquella en la que el nivel del río aumenta pero no hasta el extremo de producir daños serios ni destrucción que afecte a la población, aunque pueden verse afectadas instalaciones hidráulicas por insuficiencia en el drenaje. Se considera inundación extraordinaria, o de *magnitud alta*, aquella en la que el caudal supera el nivel ordinario del río, produciéndose desbordamientos que afectan y deterioran infraestructuras como canales de riego, presas, bases de puentes y edificios, etc., produciéndose importantes daños materiales. Por último, se considera inundación catastrófica o de *magnitud extrema*, aquella en la que el caudal del río supera su nivel ordinario, provocando daños severos o la completa destrucción de infraestructuras. En estos casos el agua suele afectar a zonas más alejadas del cauce y puede causar pérdidas humanas. El problema de los registros históricos es que no en todos los casos se dispone de información suficiente para establecer una clasificación de este tipo, sobre todo en los registros más antiguos, donde hay que interpretar los escasos datos disponibles con mayor subjetividad.

Se han determinado las posibles causas de cada inundación, en base también a los detalles que se pueden extraer de la información histórica consultada, así se han distinguido entre causas climáticas (lluvia, deshielo, tormentas, etc.) y causas estructurales (rotura o deterioro de obras hidráulicas, obstrucción de cauces, existencia de obstáculos en la llanura de inundación, etc.)

Cuando hay suficiente información, se han podido clasificar también las inundaciones según su tipología, distinguiendo entre: *avenidas* súbitas, asociadas a tiempos de respuesta cortos frente a la lluvia y aumentos bruscos de caudal; *crecidas* con desbordamiento, asociadas a tiempos de respuesta más largos y efectos menos catastróficos que en el caso anterior; *inundaciones* debidas a lluvias sin estar asociadas únicamente al desbordamiento del cauce, como es el caso por ejemplo de los estancamiento de aguas en zonas con dificultad de desagüe o zonas anegadas tras intensas lluvias.

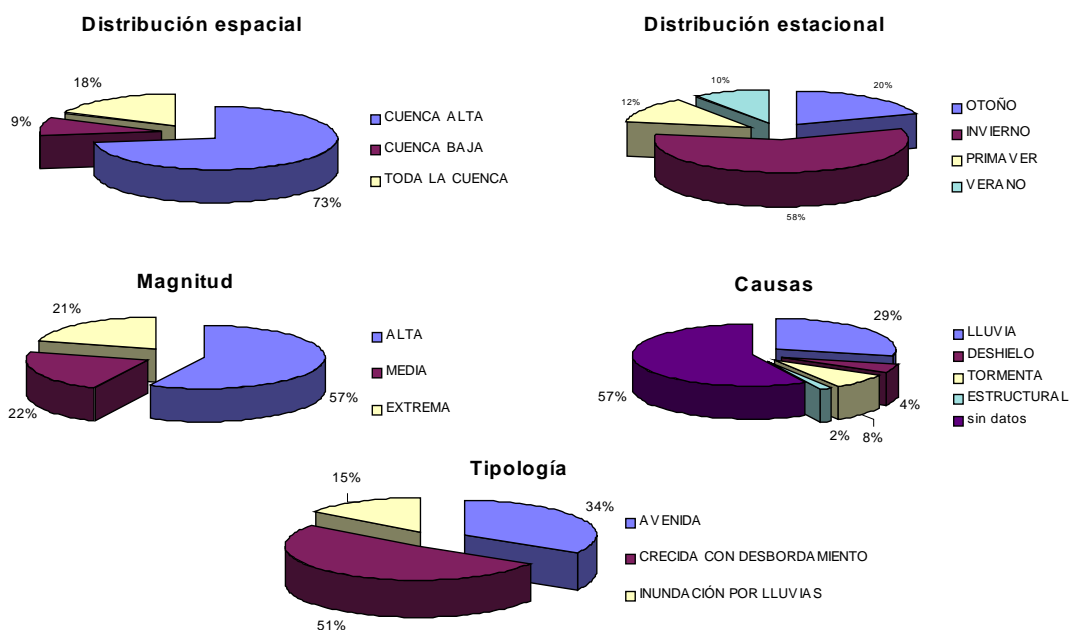
Teniendo en cuenta estos criterios, se han clasificado los episodios de inundaciones en cada una de las cuatro cuencas, estableciendo las primeras relaciones entre las mismas.

Por último se presenta en el *Anexo I* una descripción detallada e individualizada de cada inundación registrada en las cuencas altas del Tajo y del Guadiana, que son las cuencas donde se han analizado de forma más exhaustiva estos registros históricos, y donde se ha centrado la mayor parte de esta Tesis. En las cuencas del Júcar y del Segura, sin embargo, se han analizado

con menor detalle estos registros históricos, por lo que no se ha podido realizar una clasificación tan completa, y únicamente se han estudiado algunas características generales que son importantes para el posterior análisis comparativo con las cuencas del Tajo y del Guadiana.

### 3.2. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL TAJO

En la cuenca del Tajo la primera inundación, de la que existe registro histórico, corresponde al año 849, y se han analizado los datos desde esta fecha hasta 1999. En este período de años existen 204 registros de inundaciones, de los cuales se ha extraído la siguiente información (*Figura 3.3* y *Tabla 3.1*) un 73% de las inundaciones afectan a la parte alta de la cuenca, mientras que la parte baja, sin incluir Portugal, se ve afectada únicamente por un 9% de inundaciones, el resto de eventos han afectado a toda la cuenca en general. Un 58% corresponde a inundaciones de invierno, y un 20% de otoño. Se producen también algunos episodios en primavera (12%) y verano (10%). La mayor parte de inundaciones de las que se tienen datos históricos en el Tajo son de magnitud alta, y solo un 21% correspondería a inundaciones de magnitud extrema. La mayor parte de inundaciones en esta cuenca se deben a fuertes lluvias (un 29%), a tormentas (8%) y al deshielo (4%), solo un 2 % se deben a causas estructurales (obstrucción de cauces, rotura de diques o presas, etc.). Del resto de inundaciones no existen datos suficientes para determinar sus causas específicas. La mayor parte de eventos, de los que se dispone de información, se pueden clasificar como crecidas con desbordamiento (52%) y avenidas (34%).



**Figura 3.3-** Clasificación de inundaciones históricas en la cuenca del Tajo

Cuencas	Distribución espacial			Distribución estacional				Magnitud			Causas					Tipos		
	<i>cuenca alta</i>	<i>cuenca baja</i>	<i>toda la cuenca</i>	<i>Oto.</i>	<i>Inv.</i>	<i>Prim.</i>	<i>Ver.</i>	<i>Extrema</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>lluvia</i>	<i>deshielo</i>	<i>tormenta</i>	<i>estructural</i>	<i>marea</i>	<i>Crecida con desbordamiento</i>	<i>avenida</i>	<i>Inundación por lluvias estancamientos</i>
Tajo	73%	9%	18%	20%	58%	12%	10%	21%	57%	22%	29%	4%	8%	2%		51%	34%	15%
Guadiana	36%	42%	22%	23%	53%	9%	15%	10%	48%	42%	56%	1%	14%	5%	4%	31%	38%	31%

**Tabla 3.1** – Clasificación de inundaciones históricas en las cuencas fluviales de la vertiente atlántica (Tajo y Guadiana)

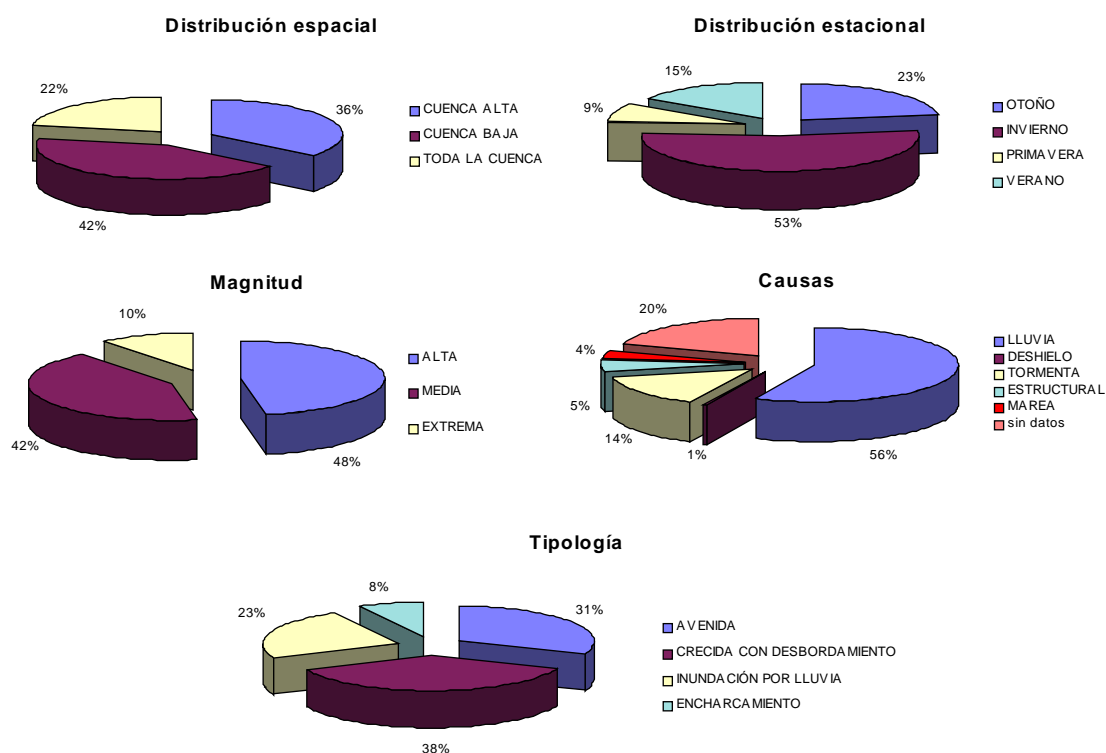
Cuencas	Distribución espacial					Distribución estacional				Causas				
						<i>Oto.</i>	<i>Inv.</i>	<i>Prim.</i>	<i>Ver.</i>	<i>lluvia</i>	<i>deshielo-nieve</i>	<i>tormenta/temporal</i>	<i>estructural</i>	<i>marea</i>
Júcar	<i>Júcar</i>	<i>Turia</i>	<i>barrancos</i>		<i>ramblas</i>	40%	6%	3%	23%	9.2%	0.5%	0.5%	15%	1%
	40%	27%	6%		3%									
Segura	<i>Segura</i>	<i>Guadalentín</i>	<i>Segura y Guadalentín</i>		<i>ramblas</i>	39%	18%	12%	31%	9%		1%	2%	
	33%	11%	24%		7%									

**Tabla 3.2** - Clasificación de inundaciones históricas en las cuencas fluviales de la vertiente mediterránea (Júcar y Segura)

### 3.3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL GUADIANA

En la cuenca del Guadiana se dispone de registros históricos de inundaciones desde el año 620 hasta el año 1985. En estos años existen 166 registros de inundaciones, de los cuales (*Figura 3.4 y Tabla 3.1*) un 42% afectan a la parte baja de la cuenca y un 36% a la parte alta, el resto de los episodios, un 22%, afectan a toda la cuenca. La mayor parte de inundaciones, un 53%, ocurren en los meses de invierno, un 23% son inundaciones de otoño y algunos episodios se registran también en verano (15%) y en primavera (9%). La mayor parte de las inundaciones registradas en esta cuenca son de magnitud moderada a alta, solo un 10% corresponde a episodios extremos. Las causas de inundación más frecuentes en la cuenca del Guadiana son las fuertes lluvias y las tormentas (un 56% de inundaciones se deben a episodios de precipitación alta, solo un 5% se deben a causas estructurales). En la cuenca baja del Guadiana las subidas de la marea también contribuyen a la ocurrencia de inundaciones. La mayor parte de eventos son del tipo crecida con desbordamiento (38%) o avenidas (31%).

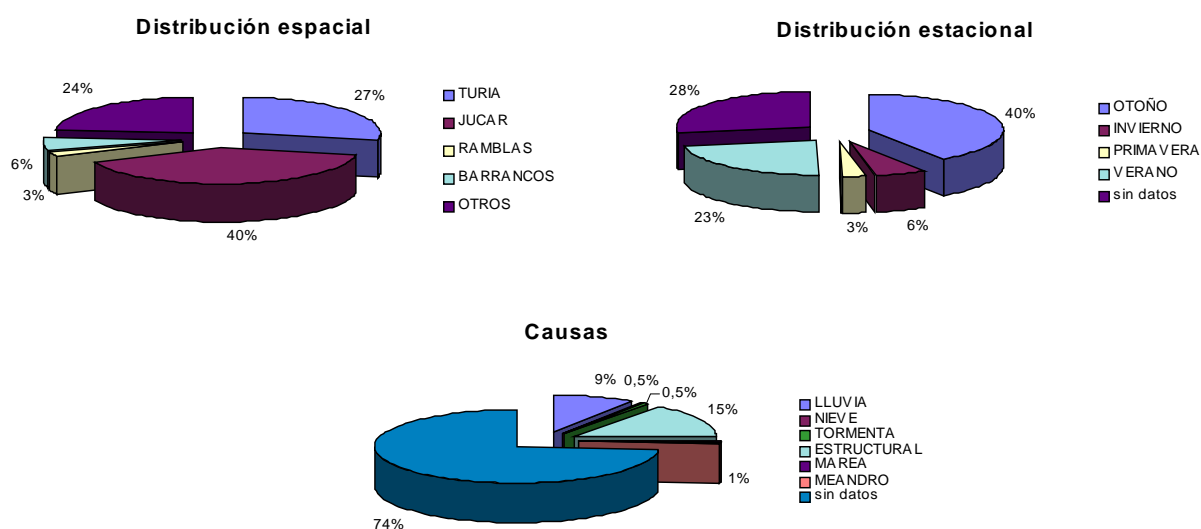
Algunos episodios se registran como estancamientos prolongados de aguas de lluvia en cuencas endorreicas o semiendorreicas, que provocan daños a la población debidos a epidemias o enfermedades endémicas.



**Figura 3.4-** Clasificación de inundaciones históricas en la cuenca del Guadiana

### 3.4. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL JÚCAR

En este estudio se han considerado conjuntamente las cuencas del Júcar y del Turia. Entre ambas suman con un total de 219 inundaciones históricas registradas entre los años 1088 y 1983, de los cuales más de la mitad afectan a los ríos principales (*Figura 3.5* y *Tabla 3.2*), un 41% al río Júcar y un 28 % al Turia, el resto de episodios se registran en cauces secundarios, ramblas y barrancos, o afectan de forma generalizada a toda la cuenca. La mayor parte de inundaciones ocurren en otoño (un 40%) y verano (23%), solo un 6% se registran en invierno y un 3% en primavera. La mayoría de las inundaciones que afectan a la cuenca del Júcar se deben a causas estructurales (15%) y a las altas precipitaciones (9%), solo un pequeño porcentaje se ve influenciado por las subidas de marea.

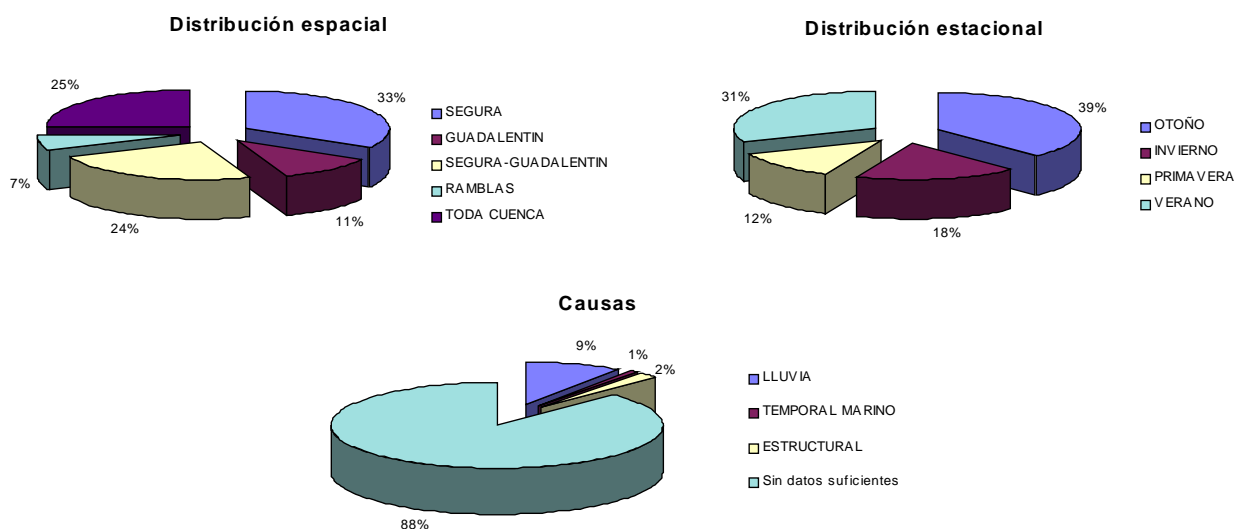


**Figura 3.5-** Clasificación de inundaciones históricas en la cuenca del Júcar

### 3.5. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL SEGURA

En la cuenca del Segura existen datos de inundaciones históricas desde el año 1485 hasta el año 1982, con un total de 214 episodios registrados, de los cuales (*Figura 3.6* y *Tabla 3.2*) más de la mitad (un 68%) afectan a los ríos principales Segura y Guadalentín, el resto de inundaciones afectan a cauces secundarios y ramblas, o se registran en varios puntos dispersos de la cuenca. La mayor parte de inundaciones de esta cuenca se registran en otoño (un 38%) y finales de verano (31%), un 18% ocurren en invierno y un 12% en primavera. La mayoría de las inundaciones que afectan a la cuenca del Segura se deben a las fuertes lluvias, y solo a un 2% se

le atribuyen causas estructurales. La mayoría de episodios están descritos como avenidas, sin más detalles sobre las causas que las generaron.



**Figura 3.6-** Clasificación de inundaciones históricas en la cuenca del Segura

### 3.6 COMPARACIÓN Y RESUMEN DE LAS PRINCIPALES INUNDACIONES EN LAS CUENCAS DEL TAJO Y DEL GUADIANA

Si se compara esta información histórica en las cuatro cuencas (*Tabla 3.1 y Tabla 3.2*), se observa una primera diferencia clara, en cuanto a la estacionalidad de las inundaciones, en las cuencas del Tajo y el Guadiana la mayoría de las inundaciones ocurren en invierno (58%-53%), mientras que en el Júcar y Segura son más frecuentes los episodios otoñales (40%) y estivales (23%-31%). En cuanto a las causas, la más frecuente en todas las cuencas son las altas precipitaciones, además en la cuenca del Júcar son muy importantes las causas estructurales, aunque éstas se ven favorecidas en muchos casos por las altas lluvias, como es el caso de la rotura de canales de riego. En el Tajo el agua procedente del deshielo es otro factor desencadenante de las inundaciones. En la parte baja de las cuencas las mareas también aparecen como una de las causas de inundación, especialmente en el Júcar y el Guadiana.

Se observa, en las cuencas del Tajo y del Guadiana, una diferencia en cuanto a la distribución espacial de las inundaciones, mientras en el Tajo la mayoría de los registros corresponden la cuenca alta, en la cuenca del Guadiana es su parte baja la más afectada. Pero esto es debido, en parte, a la distinta ocupación de las cuencas, así la mitad inferior de la cuenca del Tajo está menos poblada, lo que conlleva una disminución en el registro de inundaciones.



---

A continuación se presenta un resumen de los registros de inundaciones históricas en las cuencas del Tajo y del Guadiana (*Tabla 3.3* y *Tabla 3.4*) analizados en este capítulo. La descripción más detallada de cada uno de estos episodios aparece recogida en el *Anexo I*. Se presentan los datos solo de estas cuencas por ser en las que se centrará el resto del estudio y, por tanto, por ser las cuencas que se han estudiado con más detalle.

A partir de un primer análisis de los datos históricos se observa una marcada diferencia estacional entre las inundaciones de la vertiente atlántica que ocurren básicamente en invierno (53-58%), seguidas de las de otoño (20-23%), y las mediterráneas que se producen en otoño (40%) seguidas de las de verano (23-31%).

Este factor climático lleva también asociado un tipo de inundaciones; por tanto dentro de las atlánticas domina más el tipo de crecida con desbordamientos (38-51%) más propio de las invernales, frente a las avenidas súbitas, que aún así son importantes llegando a un 35% y que serían más asociables al otoño. La insuficiencia de información sobre las avenidas mediterráneas no permite su cuantificación, pero dadas las condiciones climáticas y morfológicas dominarían las del último tipo.

Una vez descritas las inundaciones históricas en las cuencas de estudio, sus características generales y las causas climáticas generales que favorecen las inundaciones en el centro peninsular, se analizarán en detalle las relaciones existentes entre las precipitaciones históricas y las inundaciones, así como las diferencias existentes entre las cuatro cuencas en cuanto a estas relaciones, como se expone en los capítulos siguientes

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
TAJO GENERALIZADA	849		TAJO		una gran inundación del Tajo arrasó 18 alquerías
ALTO TAJO	1113		TAJO	TOLEDO	una avenida cubrió el arco de la puerta del Almohade (Toledo)
ALTO TAJO	1168	FEBRERO	TAJO	TOLEDO	el agua salvó la muralla de la parte más baja de la ciudad de Toledo, hacia el oriente, e inundó la iglesia de San Isidoro
ALTO TAJO	1203		TAJO	TOLEDO	el agua se llevó la puerta vieja de San Martín (ciudad de Toledo). Los restos se llaman "Baños de lava" (quizá por la gran carga de sedimentos que llevaría la avenida). Fuerte crecida del Tajo
ALTO TAJO	1211	FEBRERO	TAJO	TOLEDO	el agua derribó un pilar del puente de Alcántara, arruinándolo gran crecida del Tajo
ALTO TAJO	1258	DICIEMBRE	TAJO	TOLEDO	Transcripción histórica de la gran riada. (Fuerte temporal que causó gran riada en Toledo...)
TAJO GENERALIZADA	1420	NOVIEMBRE	TAJO	MONTALBÁN	según las crónicas de la fuga de Juan II al castillo de Montalbán: "el río Tajo venía avenida cual nunca sino cincuenta años antepasados en los últimos 50 años no había habido una avenida de similar magnitud
TAJO GENERALIZADA	1434	DICIEMBRE	TAJO		las lluvias y las nieves duraron desde el 1 de noviembre hasta el 7 de enero en gran parte de la Península
TAJO GENERALIZADA	1434	DICIEMBRE	TAJO		Estuvo lloviendo desde el 1 de nov. de 1934 hasta el 7 de ene. de 1435 en gran parte de la Península
TAJO GENERALIZADA	1435	ENERO	TAJO		Estuvo lloviendo desde el 1 de nov. de 1934 hasta el 7 de ene. de 1435 en gran parte de la Península
ALTO TAJO	1435	ENERO	TAJO		las lluvias y las nieves duraron desde el 1 de noviembre hasta el 7 de enero en gran parte de la Península
TAJO GENERALIZADA	1485	DICIEMBRE	TAJO/OTROS RÍOS PENÍNSULA	CASTILLA/ANDALUCÍA/PORTUGAL	
TAJO GENERALIZADA	1485	NOVIEMBRE	TAJO/OTROS RÍOS PENÍNSULA	CASTILLA/ANDALUCÍA/PORTUGAL	
BAJO TAJO	1498	DICIEMBRE	JERTE	PLASENCIA	
ALTO TAJO	1527	DICIEMBRE			
TAJO GENERALIZADA	1527	ENERO	TAJO	BUENAVISTA (TOLEDO)	
ALTO TAJO	1543		TAJO	TOLEDO	
TAJO GENERALIZADA	1544				
ALTO TAJO	1545	DICIEMBRE	TAJO	ZORITA	Según manuscrito conservado: "Suceso fielmente relatado por D. Matías Escudero"
TAJO GENERALIZADA	1572				
TAJO GENERALIZADA	1581				
BAJO TAJO	1582		TAJO/TIETAR	ALCANTARA	
TAJO GENERALIZADA	1586	DICIEMBRE			

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
BAJO TAJO	1590	AGOSTO	ALAGON	PASTRANA/CORIA	
ALTO TAJO	1604	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	"El río Tajo ha hecho notables daños en los jardines de Aranjuez, de manera que no se podrá remediar en algunos meses"
TAJO GENERALIZADA	1611				
ALTO TAJO	1626		TAJO	TALAVERA	furiosa avenida. Las aguas casi alcanzaron una piedra blanca de la Torre
ALTO TAJO	1657	DICIEMBRE	HENARES	ALCALA DE HENARES	Narración de Jerónimo de Barrionuevo, en su libro "Avisos" (1654-1658): "por acá los días son crudos y tantas las aguas que no se puede salir de casa; el domingo, al entrar por la puente Segoviana, su capitán, en un caballo muy bueno, erró la entrada y se
ALTO TAJO	1658	MAYO	TAJO/HENARES	ARANJUEZ/TALAVERA	en el libro "Avisos" (1654-1658) de Jerónimo de Barrionuevo hay una referencia de una crecida de los ríos Henares y Tajo. En Aranjuez, el Tajo se llevó parte de los jardines.
ALTO TAJO	1674		TAJO	TALAVERA	
ALTO TAJO	1680		TAJO	ARANJUEZ/SIERRA DE CUENCA/OTROS	desde las tres de la madrugada del día 9 (¿mes?) creció el Tajo y a su paso por Aranjuez inundó parte de los jardines, todas las huertas y tapias y dañó presas y molinos. El agua sobrepasó los puentes
ALTO TAJO	1681		TAJO	TALAVERA	
ALTO TAJO	1703	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1704	JULIO	TAJO	TALAVERA	"Estaba el Tajo casi seco y de repente experimentó una avenida tan grande que se pararon los molinos" Transcripción literal del Ildefonso Fernández Sánchez, 1896
ALTO TAJO	1706	FEBRERO	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	Dos días de lluvia y nieve (días 3 y 4) y cuatro días de crecida (días 5 al 8).
TAJO GENERALIZADA	1708	ENERO	TAJO		extraordinaria crecida después de 90 día consecutivos de lluvias
ALTO TAJO	1719		ARROYO PORTIÑA	TALAVERA	una gran crecida del arroyo Portiña inundó la ciudad de Talavera de la Reina
ALTO TAJO	1729	DICIEMBRE	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1733	JUNIO	ALBERCHE	SANTA OLALLA/SAN CLEMENTE	
ALTO TAJO	1739	NOVIEMBRE	JARAMA		
ALTO TAJO	1739	DICIEMBRE	TAJO/JARAMA/ALBERCHE	ARANJUEZ/ESCALONA	
ALTO TAJO	1740		TAJO	ARANJUEZ	1680 reales invertidos en costos de reparación
ALTO TAJO	1745	ABRIL	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1745	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1747	ENERO	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	Font Tullot (1988) hace referencia a una avenida en el Tajo y Jarama en el año 1747, sin dar más información, posiblemente se refiera a este mismo episodio

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1747	DICIEMBRE	TAJO/JARAMA/ALBERCHE	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1750	NOVIEMBRE	TAJO	ARANJUEZ	Crecida desde 6 de la mañana a las 7 de la noche. En 34 años no se había visto una crecida de igual magnitud en una época que no era de lluvias ni nieves
ALTO TAJO	1752	SEPTIEMBRE	JARAMA	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1756		ALBERCHE	TALAVERA	importante crecida del Alberche arrastró un puente de madera en el término municipal de Talavera de la Reina
ALTO TAJO	1758	DICIEMBRE	JARAMA	ARANJUEZ	El domingo, 3 del 12, al anochecer, el Jarama a su paso por Aranjuez, comenzó a crecer y continuó con tanta fuerza que a las tres de la madrugada rompió el puente Viejo, construido de palos y ladrillos. A esta hora el agua alcanzó una altura de 15 pies.
TAJO GENERALIZADA	1777	ENERO			
TAJO GENERALIZADA	1777	DICIEMBRE			
TAJO GENERALIZADA	1778	ENERO			inundaciones en Toledo
ALTO TAJO	1778	ENERO	JARAMA/TAJO	ARANJUEZ/TOLEDO	el agua ocupó 50 pies en líneas. En planta (extensión areal), el agua llegó a cubrir hasta la calle Colmenar (en Aranjuez?). En Toledo, en el lugar llamado el Barco, hay una lápida que señala la altura alcanzada por el agua en ese lugar
TAJO GENERALIZADA	1780		TAJO/GEVALO/OVERO	TALAVERA/ALCAUDETE DE LA JARA	
ALTO TAJO	1783	MARZO	JARAMA	ARANJUEZ	transcripción literal (Comisión Nac. Protec. Civil)
ALTO TAJO	1788	MAYO	TAJO	TOLEDO	
ALTO TAJO	1789	MAYO	TAJO/ALBERCHE	ARANJUEZ/TOLEDO (PROVINCIA)	impetuosa avenida del Tajo en Aranjuez. Crecida del Alberche
ALTO TAJO	1796	DICIEMBRE ENERO FEBRERO	JARAMA	SESEÑA	invierno 1796-97. Los riegos quedaron imposibilitados. Quedó cortada la Cacería de la Media Luna, al final de la Vega de la Serena, cerca a la Dehesa del Rey (en Aranjuez?)
ALTO TAJO	1797		JARAMA	ARANJUEZ	transcripción literal de una carta dirigida al Príncipe de la Paz desde Aranjuez
ALTO TAJO	1806	NOVIEMBRE	JARAMA/TAJO	ARANJUEZ	En el amanecer del 5 de Noviembre, el Tajo alcanzó los 4 pies en el puente de Barcas de Aranjuez. En el puente Largo el Jarama subió 8 pies.
ALTO TAJO	1806	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	En la noche del 13-14 el agua cubrió con 4 pies el registro del puente de Barcas de Aranjuez. Las aguas cruzaron por encima del Camino Real de Madrid
ALTO TAJO	1815	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	Según el conserje real del Palacio de Aranjuez "creció fuertemente saliendo hasta cubrir por partes, aunque no de consideración el camino de Madrid"
ALTO TAJO	1823	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	caminos hasta Aranjuez cortados. Los viajeros no pudieron llegar hasta Aranjuez. El Tajo sufrió tal crecida que Aranjuez quedó incomunicado
ALTO TAJO	1830	SEPTIEMBRE	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	tres días consecutivos de lluvias y crecida en la zona (1-3 de septiembre) Transcripción literal (Comis. Nac. Protec. Civil)
ALTO TAJO	1830	SEPTIEMBRE	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ/MAR DE ONTIGOLA	comienzo de las lluvias (fuertes ese día 1) y crecida que duró tres días (1-3 de septiembre). Transcripción literal (Comis. Nac. Protec. Civil)
TAJO GENERALIZADA	1831	ENERO			

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1841	FEBRERO	JARAMA/TAJO	ARANJUEZ	Transcripción literal (Comis. Nac. Protecc. Civil)
ALTO TAJO	1845	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1851	ABRIL	MANZANARES		
TAJO GENERALIZADA	1853	DICIEMBRE	TAJO		el Tajo registró una avenida extraordinaria que causó daños de consideración en las tierras de labor
ALTO TAJO	1853	MARZO ABRIL MAYO	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	El Tajo y el Jarama produjeron daños en las tierras arrendadas por el Real Patrimonio
ALTO TAJO	1856	ENERO	MANZANARES/JARAMA/TAJO/GUADIELA/ ALBERCHE	MADRID/EL PARDO/ARANJUEZ/TEMBLEQUE/ LA MANCHA/ENTREPEÑAS/SACEDON/AUNON/ TALAVERA/ESCALONA	desalojo de habitantes de las riberas del Manzanares el 8 de Enero de 1856. Se unieron las crecidas del Tajo y el Jarama y se inundaron completamente los sotos de los alrededores de Aranjuez, cubriendo todo el ferrocarril Transcripción literal (Comis. Nac. Protecc. Civil) de los daños ocasionados en Entrepeñas por el Tajo y el Guadela, en el Pardo y Madrid por el Manzanares y en Aranjuez por el Tajo y el Jarama
ALTO TAJO	1860	DICIEMBRE	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	la avenida del día 26 superó a la del día 10, las aguas subieron 18 pulgadas sobre las marcas de anteriores avenidas en el Real Sitio de Aranjuez. Informe de la avenida del 26
ALTO TAJO	1866	MARZO	TAJO/JARAMA/ALGODOR	ARANJUEZ/VEGA DE MAZARABUZAQUE	TEMPORALES DE AGUA Y VIENTO LOS PRIMEROS DÍAS DE MARZO
ALTO TAJO	1867	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
TAJO GENERALIZADA	1869				
ALTO TAJO	1872	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1876	DICIEMBRE	TAJO/JARAMA	GARROVILLAS/ALCANTAR/TOLEDO/CABEZUELA/ VERTE/TORNAVACAS/PLASENCIA/CEMBRE/ MONTACHEZ/CECLAVIN/ARANJUEZ/TOLEDO	las aguas superaron en más de 1 m. de altura a las avenidas de 1856 y 1739. Se construyó el hidrograma en la estación de aforos de Villa Velha de Rodao (Portugal) el mes de diciembre de 1876 y el caudal instantáneo obtenido fue de 1500 m3/seg para el día 7 de diciembre. Solo faltaron 5 m. para salvar los citares del puente romano de Alcántara
ALTO TAJO	1877	SEPTIEMBRE	TAJUÑA/HENARES/JARAMA/ARROYOS VARIOS/MANZANARES	CARABAÑA/TIELMES/BRIHUEGA/CIFUENTES/ SIGÜENZA/BUSTARVIEJO/CARENCIA	altas precipitaciones
ALTO TAJO	1878	DICIEMBRE	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1879		TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	
TAJO GENERALIZADA	1881	JUNIO	TAJO		vías de ferrocarril inundadas entre Ciudad Real, Badajoz y Toledo
ALTO TAJO	1881	ENERO FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	cambió de dirección el río en el Soto de Legamanejo La fecha de la inundación está registrada el 12 de febrero y 14 de enero
ALTO TAJO	1881	ENERO	TAJO/ALGODOR/ALBERCHE/HENARES/ GUADAMÉS	TALAVERA/SIGÜENZA	el río Guadamez creció a su paso por Sigüenza 6,70 m. sobre el nivel de estiaje medido en 1878, esta subida se produjo el día 28 a las 6 de la tarde. Hubo que abandonar la estación de Algodor y trasladarse a la de Castillejos. El Tajo subió en un día 28 0,30 m., 2,85 m. en total sobre el nivel ordinario
ALTO TAJO	1886	ABRIL	LLUVIAS/ARROYOS VARIOS	VILLAVICIOSA DE ODÓN	lluvias in situ y pedrizas

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1888	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1888	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	El río Tajo crece por segunda vez ese año, causando daños en Aranjuez
ALTO TAJO	1889	MAYO	LLUVIAS	CHINCHÓN	
ALTO TAJO	1889	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
TAJO GENERALIZADA	1891				
ALTO TAJO	1891	SEPTIEMBRE	TAJO/ALGODOR/OTROS	CASTILLEJOS/ORGÁZ/MORA/ESTACIÓN DE ALGODOR	En la estación de Algodor, la vía del ferrocarril fue arrastrada 100 m
ALTO TAJO	1892	MAYO	LLUVIAS	MORATA DE TAJUÑA/CARRANQUE/AÑOFRÍN/MAZARAMBRAZ/FONSECA/CHINCHÓN	lluvias in situ, tormenta y pedrisco
ALTO TAJO	1892	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	
BAJO TAJO	1893	SEPTIEMBRE	ALAGON	SANTIBAÑEZ DE LA SIERRA/MOLINILLO/SAN ESTEBAN DE LA SIERRA/SEQUEROS	fuerte crecida del río Alagón a causa de fuertes lluvias
ALTO TAJO	1893	SEPTIEMBRE	LLUVIAS/MANZANARES/ARROYO VALTORON	VILLASEQUILLA/TEMBLEQUE/TENERTA/MADRID/YEPES/MORA/MOLAR/VALDETORRES	el arroyo Valtorón afectó a las poblaciones de Molar y Valdetorres. Leve crecida en el Manzanares
ALTO TAJO	1895	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1895	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1895	FEBRERO	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1896	DICIEMBRE	TAJO	ARANJUEZ	posible atasco con maderas por encima del Caz de Azuda
ALTO TAJO	1897	ENERO	JARAMA	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1899	AGOSTO	TAJO/JARAMA	TOLEDO/MADRID	del día 11 al 15 en Toledo (Tajo). El día 15 en Madrid (Jarama)
ALTO TAJO	1900	FEBRERO	TAJO/JARAMA	ARANJUEZ	la crecida empezó a las 3 de la tarde del día 12, a las 7 de la tarde de ese mismo día se acentuó bastante y a las 11 de la mañana del día 13 se produjo la gran crecida
ALTO TAJO	1901	MARZO	TAJO	ARANJUEZ	no se registraba crecida igual desde 1860
ALTO TAJO	1902	MARZO		ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1902	FEBRERO		TOLEDO	inundación
ALTO TAJO	1902	SEPTIEMBRE	TAJO	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1902	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	nuevas lluvias acentúan la riada iniciada el día 1 de febrero de 1902
ALTO TAJO	1902	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1904	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	
BAJO TAJO	1909	DICIEMBRE	TAJO/TIETAR/GUADYERBAS/AFLUENTES	OROPESA	
ALTO TAJO	1910	DICIEMBRE	MANZANARES		
ALTO TAJO	1910	DICIEMBRE	TAJO/MANZANARES/JARAMA	TOLEDO/POVEDA/RIVAS VACIAMADRID	Las aguas del Manzanares y el Jarama se sumaron inundando las riberas del Manzanares. El Jarama alcanzó aguas altas en Poveda y Ribas Vaciamadrid, desbordando el día 9-10
ALTO TAJO	1912	FEBRERO	TAJO	ARANJUEZ	20 m. de desprendimientos en el malecón de la Solera y entrada de agua en la casa de máquinas de Sotomayor
TAJO GENERALIZADA	1912	FEBRERO	TAJO/ALGODOR/JERTE/ARROYO HIGUERAS/AMBROZ	HERVAS/MORALEJA/PLASENCIA/TEJEDA DEL TIETAR/ALCANTARA/LA VERA	en Hervas se hundieron 8-10 casas, en Moraleja desbordó el arroyo Merdero, en Plasencia desbordó el Jerte, en Tejeda del Tietar los efectos de la lluvia se dejaron sentir en la garganta de Gargüera
ALTO TAJO	1915	ENERO	TAJO	ARANJUEZ	comenzó el día 1
ALTO TAJO	1916	DICIEMBRE	TAJO/GUADIELA	PERALEJOS/ALMONOCID/VILLAMANRIQUE DEL TAJO/TOLEDO	en Peralejos el agua se llevó un puente, además de muebles, enseres, ropa y la población tuvo que refugiarse en el tejado de las casas. En Tolero sufrieron daños las huertas y el tráfico ferroviario
ALTO TAJO	1922		ALBERCHE		
ALTO TAJO	1924	MARZO ´ ABRIL	TAJO/ALGODOR/AFLUENTES TAJO	ARANJUEZ/TOLEDO/ALGODOR/CUENCA (PROVINCIA)	el tren solo llegaba a Villaseca. En Algodor, 40 familias se vieron amenazadas (los vecinos se subieron a los tejados de sus casas) 29-Marzo/1-Abril
TAJO	1925	NOVIEMBRE	TAJO	ALCONETAR	crecida extraordinaria, desbordamiento del Tajo
ALTO TAJO	1926	NOVIEMBRE	TAJO		crecida extraordinaria
BAJO TAJO	1927	DICIEMBRE	TIETAR,ALBERCHE	MOMBELTRAN,ARENAS DE SAN PEDRO, SAN ESTEBAN DEL VALLE, SANTA CRUZ DEL VALLE	fuerte crecida de un arroyo del Tietar y daños de consideración causados por el Alberche en los Km. 41 y 42 de la carretera de Avila a Sotillo de Adrada.
ALTO TAJO	1928	SEPTIEMBRE	LLUVIAS	ARANJUEZ	lluvias in situ (fuerte tormenta) desbordamiento estructural al llenarse el cauce de piedras y arena. Canal de las Áves anegado de piedras y arena provocando desbordamiento. Erosión márgenes Tajo
ALTO TAJO	1930	JUNIO	LLUVIAS	MADRID	en la Calle General Ricardos (Madrid) el desagüe quedó taponado y fue insuficiente. Lluvias in situ y lluvias torrenciales
BAJO TAJO	1932	MAYO	ALAGON	HERVAS (CÁCERES)	
TAJO GENERALIZADA	1935	DICIEMBRE	TAJO/ARROYOS/TIETAR	PRESA SANTA ANA/ARENAS DE SAN PEDRO/SAN ESTEBAN DEL VALLE/OROPESA/BEJAR/CORIA/ CANDELADA/GUISANDO	la riada abrió en la presa de Santa Ana un boquete de 10 m. por donde entró el agua y arrasó los pilotes, provocando la ruina de la ya de por sí deteriorada presa
ALTO TAJO	1936	FEBRERO	TAJO/ALBERCHE/HENARES/JARAMA/ARR OYO LUCHE	TIEMBLO/GUADALAJARA/TALAVERA/ESCALONA/ ARANJUEZ/SAN FERNANDO DE HENARES/ALCALA DE HENARES	el día 22 el arroyo Luche desbordó en la carretera de Extremadura y en la huerta Castañeda (provincia de Guadalajara). Guadalajara capital también se vio afectada. El río Jarama afectó a San Fernando de Henares y el río Henares a Alcalá de Henares. En Guadalajara se vió afectada una central eléctrica y un puente. En Alcalá de Henares, las huertas de la escuela, el puente de Zulema, cosechas de la finca La Isla, fábricas de harina y electricidad. El Henares a su paso por la provincia de Guadalajara arrastró a su paso postes de alta tensión

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
TAJO GENERALIZADA	1936	ENERO	TAJO/ARROYOS VARIOS	ARANJUEZ/VILLACAMPOS/ARENAS DE SAN PEDRO/SAN ESTEBAN DEL VALLE/ CANDELADA/MOMBELTRÁN	el desbordamiento del Tajo dejó impracticable la carretera de Aranjuez a Villacañeros y dificultó el tráfico en el Km. 4 de la N-IV Madrid-Cádiz
ALTO TAJO	1939	FEBRERO	ESCABAS	PRIEGO	
ALTO TAJO	1941			TORREJÓN	
ALTO TAJO	1941		TAGEÑA/ALBERCHE	TALAVERA	
TAJO GENERALIZADA	1941	ENERO	TAJO/GUADIELA/HENARES/TAJUÑA/ ALBERCHE/GEBALO/JARAMA	ZORITA/ARANJUEZ/ARGANDA/TITULCIA/ SAN MARTÍN DE LA VEGA/CIEMPOZUELOS/ GUADALAJARA/TIELMES/TALAVERA/ALCAUDETE DE LA JARA	las lluvias y temperaturas suaves derritieron la nieve y comenzó el día 22 la riada enorme del Guadela, seguida del Tajo que se le sumó el día 24 a las 10 de la noche. La central de Zorita quedó aislada y hubo cortes eléctricos. La altura alcanzada por la lámina de agua en los alrededores de la central fue de 4,80 m. y en las puertas de la sala de máquinas de 2,43 m. El caudal llegó a 2000 m³/seg (aforado) desde un caudal medio ordinario de 40 m³/seg y mínimo de 8 m³/seg. En Aranjuez hubo daños en canales y huertas de regadío. El caudal estimado en Aranjuez el 21 de enero fue de 2500 m³/seg, igual que el aforado en el Jarama, antes de Aranjuez, el día 25. Hubo cortes en los terraplenes de Arganda y el día 22 en el Henares se aforaron 630 m³/seg.
ALTO TAJO	1943	MARZO	ALBERCHE	TALAVERA/EL BURGUILLO	
ALTO TAJO	1943	ABRIL	JARAMA	VELILLA DE SAN ANTONIO	20 m. de anchura afectados en el margen del Jarama
ALTO TAJO	1944		ALBERCHE	BURGOHONDO/NAVARREVISCA	
ALTO TAJO	1946	ABRIL	TAJO	ARANJUEZ	comenzó a crecer el Tajo la noche del día 1, a las 7 de la mañana del día 2 rompió 20 pies de la presa el Caz y Sotomayor
TAJO GENERALIZADA	1947	MARZO			extraordinaria avenida
ALTO TAJO	1947	MARZO	TAJO/JARAMA/HENARES/MANZANARES/ ALBERCHE	ARANJUEZ/TOLEDO/TALAVERA/SAN FERNANDO DE HENARES/RIVAS VACIAMADRID/VELILLA DE SAN ANTONIO/SIGÜENZA/ALCALÁ DE HENARES/MADRID/ARGANDA/GUADALAJARA	el Manzanares desbordó por el arroyo de la Elipa (entre Ventas y el cementerio de la Almudena, también en la estación Norte. En Mejorada del Campo se aforaron 988,5 m³/seg el día 3. La estación de Seseña también se inundó. El caudal aforado en el Henares a su paso por Guadalajara fue de 540 m³/seg. El día 3
ALTO TAJO	1948	ENERO	HENARES	ALCALÁ DE HENARES	
TAJO GENERALIZADA	1949	SEPTIEMBRE			inundaciones con importantes daños PRINCIPIOS-SEPTIEMBRE
ALTO TAJO	1949	MAYO	BARRANCO VALDECASAS/LLUVIAS	ARANJUEZ	
ALTO TAJO	1949	SEPTIEMBRE	HENARES/MAYOR	GUADALAJARA/VALDEMOCHE	En Guadalajara hubo numerosos daños en casas, fábricas, tapias, etc. La avenida del río Mayor duró 20 horas
ALTO TAJO	1955	DICIEMBRE	ALBERCHE/OTROS	TALAVERA	
ALTO TAJO	1956	NOVIEMBRE DICIEMBRE	JARAMA	SAN FERNANDO DE HENARES/REAL ACEQUIA DEL JARAMA	En San Fernando de Henares daños en finca "Granja Wellington" y alteración de la forma del canal. También se vio afectada la Real Acequia del Jarama
ALTO TAJO	1956	ENERO FEBRERO	JARAMA	SAN MARTÍN DE LA VEGA	aguas arriba del puente de Pindoque. Abrió grandes socavones y abrió y profundizó cauces secundarios en la ribera izquierda del Jarama.



CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1956	MARZO	MANZANARES	VILLAYERDE BAJO	desbordamiento por la margen derecha del Manzanares, volcando una torre de la línea eléctrica en Villaverde Bajo
TAJO GENERALIZADA	1958	DICIEMBRE	JARAMA/TIETAR	REAL ACEQUIA DEL JARAMA	Real Acequia del Jarama rota en el kilómetro 23,5
ALTO TAJO	1960	FEBRERO	ALBERCHE		debido a una avenida extraordinaria del Alberche, el embalse de derivación del Canal Bajo del Alberche casi se llenó, llegando la lámina de agua, con 4,50 m., casi a la altura máxima proyectada (5 m.), teniendo abiertas 6 de la 7 compuertas
ALTO TAJO	1960	SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE	JARAMA	SAN FERNANDO DE HENARES	se rompieron las defensas de la finca "Granja Wellington" en el margen derecho del Jarama. Esta margen se modificó
ALTO TAJO	1961	NOVIEMBRE	JARAMA	SAN MARTÍN DE LA VEGA/SAN FERNANDO DE HENARES	El invierno de 1961-62 fue uno de los de mayor índice pluviométrico. Se produjeron daños en 250 m. a los márgenes de la finca "La Isla" y el cauce del Jarama sufrió variaciones
ALTO TAJO	1961	DICIEMBRE ENERO FEBRERO	LOZOYA	RASCAFRIA	
ALTO TAJO	1963	SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE	HENARES	MEJORADA DEL CAMPO	el río Henares modificó su cauce. Al no tener el freno del Jarama (regulada su corriente por el embalse del Vado y del Lozoya) el agua del Henares llegó hasta la finca "el Alegralejo". El Jarama se vio influido por el acarreo de gravas y arenas
BAJO TAJO	1964		TIETAR		
TAJO GENERALIZADA	1965	DICIEMBRE ENERO FEBRERO	CUACOS		
ALTO TAJO	1965	SEPTIEMBRE	CUERVO	CUENCA	
ALTO TAJO	1965	NOVIEMBRE	CUERVO	PRESA LA TOSCA (CUENCA)	la presa "La Tosca" (Cuenca) en construcción en ese momento, fue destruida
ALTO TAJO	1965	DICIEMBRE ENERO FEBRERO	JARAMA	FINCA LA ISLA	destrozos en la finca "La Isla" en el margen derecha del Jarama
BAJO TAJO	1965	OCTUBRE	TAJO/TIETAR	PRESA TORREJON	
ALTO TAJO	1966	DICIEMBRE ENERO FEBRERO	JARAMA	SAN MARTÍN DE LA VEGA	El Jarama, insuficientemente regulado en esta época, ofrecía variaciones en su caudal y en algunos tramos el cauce se había modificado. En San Martín de la Vega se trasladó hacia el E su lecho a la altura del puente del camino de Morata de Tajuña a 25 Km de su confluencia con el Tajo
ALTO TAJO	1968	ENERO	CUERVO	PRESA LA TOSCA (CUENCA)	el agua llegó a 1 m. del desagüe lateral de la presa "La Tosca"
ALTO TAJO	1968		JARAMA	SAN MARTIN DE LA VEGA	
TAJO GENERALIZADA	1969	MARZO ABRIL MAYO	ALBALATE	ALBALATE DE LAS NOGUERAS	en la margen izquierda del Alberche se erosionó el margen que se intentó reparar con un proyecto de reparación de daños catastróficos en septiembre de 1969. No había antecedentes de avenidas conocidas en esta zona
ALTO TAJO	1969	MARZO	JARAMA	SAN MARTÍN DE LA VEGA	En la margen izquierda del Jarama se produjeron daños en las defensas
TAJO GENERALIZADA	1970	ENERO			desbordamientos

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO TAJO	1970	ENERO	HENARES	ALCALA DE HENARES	la mayor avenida registrada en este río (Henares) desde la construcción de los embalses de cabecera del Jarama, los cuales laminan de forma efectiva las avenidas
ALTO TAJO	1970	ENERO	MANZANARES	EL PARDO	poca consistencia de la margen derecha del Manzanares, en el azud del Pardo, quedando muy dañado
ALTO TAJO	1970		RIVERA DE LA GATA	MORALEJA	
TAJO GENERALIZADA	1970	ENERO	TAJO/ALBERCHE/OTROS ARROYOS DEL TAJO	TALAVERA	
ALTO TAJO	1972	NOVIEMBRE	ARROYO ARDOZ/ARROYO CULEBRAS/ARROYO DE LA CAÑADA	TORREJÓN DE ARDOZ	la inundación de Torrejón fue debida a la suma del agua de los 3 arroyos cuyas cuencas suman 50 Km2
ALTO TAJO	1973		ALBERCHE	PEPINO	a causa de las fuertes avenidas, se rompió el paso con salto del camino de las Torres, en Pepino
ALTO TAJO	1977	DICIEMBRE	MORALEJA/RIVERA DE LA GATA	MORALEJA	55 mm. De precipitación
ALTO TAJO	1978	MARZO ABRIL MAYO	JARAMA	SAN MARTÍN DE LA VEGA	destrucción de 170 m. de defensas del margen derecho del Jarama, aguas debajo de la presa del Rey, a la altura del desarenador de la Real Acequia del Jarama, frente al Km2 del canal en San Martín de la Vega
TAJO GENERALIZADA	1978	MARZO	TAJO/JERTE/SALOR	TALAVERA/PLASENCIA	
ALTO TAJO	1979	ENERO	ALBERCHE	CAZALEGAS	las grandes avenidas causaron erosiones en el embalse de Cazalegas, por detrás de los muros cajeros, avanzando hasta el cuerpo central de la presa de tierras. El dique sufrió peligro de
TAJO GENERALIZADA	1979	FEBRERO	TAJO/ALAGON/ARROYO BOQUERÓN	CORIA/MORALEJA/GALISTEO/MONTEHERMOSO/ RIOLOBOS	200 m/m de lluvia (fuerte temporal)
ALTO TAJO	1987	JULIO	ARROYO VEGA DE ALMOGUERA	ALMOGUERA (GUADALAJARA)	
ALTO TAJO	1996?	JULIO	MANZANARES	MADRID	lluvias y cierre de compuertas del canal del Manzanares
ALTO TAJO	1997	NOVIEMBRE	MANZANARES/LLUVIAS	MADRID	

**Tabla 3.3** - Registros de inundaciones históricas en la cuenca del Tajo

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
BAJO GUADIANA	620		ANNAS	MÉRIDA	arruinado el monasterio de Caulina, próximo a Mérida
BAJO GUADIANA	680		GUADIANA	MÉRIDA	destruido parcialmente el puente romano de Mérida
GUADIANA GENERALIZADA	686		GUADIANA		
BAJO GUADIANA		DICIEMBRE	TINTO/ OTROS		
BAJO GUADIANA?	1500		GUADIANA	ARGAMASILLA DE ALBA	reconstrucción de las casas llevadas a cabo por el Prior Diego de Toledo, 2º Duque de Alba
ALTO GUADIANA	1508	JUNIO	GUADIANA	PROV. CIUDAD REAL	
GUADIANA	1527	ENERO	LLUVIAS		
ALTO GUADIANA	1542		AZUER	DAIMIEL	
ALTO GUADIANA	1544		AZUER	DAIMIEL	
GUADIANA GENERALIZADA	1544		GUADIANA		
GUADIANA GENERALIZADA	1545		GUADIANA/ AZUER	MÉRIDA/BADAJOS/DAIMIEL	
GUADIANA GENERALIZADA	1554		LLUVIAS		
ALTO GUADIANA	1555		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	
ALTO GUADIANA	1556		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	Socuéllamos se convirtió en una inmensa laguna. El estancamiento de las aguas provocó efectos mortíferos entre los habitantes de Socuéllamos
GUADIANA GENERALIZADA	1557		LLUVIAS		
ALTO GUADIANA	1573		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	
ALTO GUADIANA	1574	AGOSTO	CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	colosal tormenta en la cuenca alta del Guadiana. En Socuéllamos al estar situado sobre una planicie, la zona inundada fue muy extensa pero sin altura ni violencia
ALTO GUADIANA	1574	AGOSTO	ZÁNCARA	EL PROVENCIO	El temporal duró 15 días. Temporal sobre la cabecera del Guadiana
BAJO GUADIANA	1596	DICIEMBRE	GUADIANA/GÉVORA	BADAJOS	destrozos en el Puente de las Palmas de Badajoz
BAJO GUADIANA	1597	ENERO	GUADIANA/GÉVORA	BADAJOS	destrozos en el Puente de las Palmas de Badajoz
BAJO GUADIANA	1603	DICIEMBRE	GUADIANA	BADAJOS/MÉRIDA/MEDELLÍN	
BAJO GUADIANA	1604	ENERO	GUADIANA	BADAJOS	
ALTO GUADIANA	1608	FEBRERO	ARROYO TENERIAS	JEREZ DE LOS CABALLEROS	
ALTO GUADIANA	1610	MAYO	ARROYO TENERIAS	JEREZ DE LOS CABALLEROS	
GUADIANA GENERALIZADA	1618		LLUVIAS		

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
BAJO GUADIANA	1624	SEPTIEMBRE	LLUVIAS	ZAFRA/BADAJOS	En Badajoz se produjo una tromba de agua que afectó a varias casas y llegó al convento de Santa Catalina
GUADIANA GENERALIZADA	1625		LLUVIAS/ INUNDACION		
GUADIANA GENERALIZADA	1626		LLUVIAS		
BAJO GUADIANA	1630	MARZO	GUADIANA	BADAJOS	
GUADIANA GENERALIZADA	1635		LLUVIAS		
GUADIANA GENERALIZADA	1636		LLUVIAS		
GUADIANA GENERALIZADA	1641		LLUVIAS		
GUADIANA GENERALIZADA	1657		LLUVIAS		
ALTO GUADIANA	1680	OCTUBRE	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	
BAJO GUADIANA	1684		LLUVIAS	BADAJOS	lluvias in situ. Enfermedades por mala alimentación después de la inundación
ALTO GUADIANA	1704	verano-otoño?	AMARGUILLO	CONSUEGRA	daños en la Iglesia (1ª iglesia en la entrada del pueblo-aguas arriba-margen izquierda)
ALTO GUADIANA	1708	MARZO	CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	
ALTO GUADIANA	1723	SEPTIEMBRE	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	daños muy cuantosos en la agricultura
ALTO GUADIANA	1750		CIGÜELA	VILLARRUBIA	Varias inundaciones en Villarrubia. Sin más noticias de daños
BAJO GUADIANA	1758	ENERO	GUADIANA	MÉRIDA/BADAJOS	Lápida en el puente de Badajoz que señala estas inundaciones
ALTO GUADIANA	1759	JUNIO	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	
BAJO GUADIANA	1761	SEPTIEMBRE	LLUVIAS	ZAFRA	lluvias in situ. Aguas torrenciales que no pudieron encauzar por las cloacas de Zafra
BAJO GUADIANA	1765	ENERO	GUADIANA	BADAJOS	
BAJO GUADIANA	1766	DICIEMBRE	GUADIANA/ RIVILLAS	BADAJOS	Varias señalizaciones de estas inundaciones en las puertas y puentes de Badajoz. Tormentas de otoño
ALTO GUADIANA	1771		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	sin más noticias de daños
ALTO GUADIANA	1784		CÓRCOLES		el río "se salió de madre" e inundó Socuéllamos en dos ocasiones ese año
ALTO GUADIANA	1784		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	el río "se salió de madre" e inundó Socuéllamos en dos ocasiones ese año. Lluvias largas e intensas
ALTO GUADIANA	1785		ZÁNCARA	EL PROVENCIO	el agua provocó una laguna que duró hasta 1789, provocando una epidemia de cólera que causó 1500 víctimas
ALTO GUADIANA	1792		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	
ALTO GUADIANA	1801	SEPTIEMBRE	AMARGUILLO	VILLAFRANCA DE LOS CABALLEROS	avenida de gran magnitud. El rey perdonó al Ayuntamiento la mitad de los atrasos que debía al pósito y el total de las creces, y por un período de cuatro años las contribuciones reales

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
GUADIANA GENERALIZADA	1801	SEPTIEMBRE	LLUVIAS		inundación por lluvias torrenciales. "Las lluvias hacían correr las aguas intempestuosamente por rieras, ramblas, torrenteras y barrancos" (Font-Tullot, 1988)
ALTO GUADIANA	1802		CÓRCOLES	SOCUÉLLAMOS	
GUADIANA GENERALIZADA	1802	MAYO	LLUVIAS		inundación por lluvias torrenciales. "Las lluvias hacían correr las aguas intempestuosamente por rieras, ramblas, torrenteras y barrancos" (Font-Tullot, 1988)
ALTO GUADIANA	1803		ARROYO PELLEJERO	ALMAGRO	enfermedades endémicas a causa del estancamiento de las aguas desbordadas
BAJO GUADIANA	1811	FEBRERO	GUADIANA/ GÉVORA/ RIVILLAS/ ARROYO CALAMÓN	BADAJOS Y ALREDEDORES	días lluviosos continuados. Fuertes lluvias
ALTO GUADIANA	1821	DICIEMBRE	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	
BAJO GUADIANA	1823	FEBRERO	GUADIANA	MÉRIDA/SANLÚCAR DEL GUADIANA/LLORENTE	
BAJO GUADIANA	1829	NOVIEMBRE DICIEMBRE	PIEDRAS	LEPE	
ALTO GUADIANA	1834	JUNIO	RAMBLA DE SANTA CRUZ (JABALÓN)	SANTA CRUZ DE MUDELA	la Rambla de Santa Cruz (afluente del Jabalón) provocó una inundación seguida de una epidemia de cólera por estancamiento de las aguas en Santa Cruz de Mudela
BAJO GUADIANA?	1856	ENERO	GUADIANA	SAN PEDRO	
ALTO GUADIANA	1859	ENERO	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	población de Valdepeñas inundada casi por completo
BAJO GUADIANA	1860	DICIEMBRE	GUADIANA	MÉRIDA	puente romano de Mérida
BAJO GUADIANA	1867	NOVIEMBRE	ODIEL	HUELVA	arrecife, muelle, casas, almacén
ALTO GUADIANA	1871	FEBRERO	GUADIANA	ARGAMASILLA DE ALBA/TOMELLOSO	
ALTO GUADIANA	1873	ABRIL	GUADIANA	ARGAMASILLA DE ALBA/TOMELLOSO	
BAJO GUADIANA	1876	DICIEMBRE	GUADIANA	BADAJOS/MÉRIDA/MÉRTOLA (PORTUGAL)/SANLÚCAR	
BAJO GUADIANA	1876	NOVIEMBRE	ODIEL?		puente romano de Mérida, capilla de San Antonio, casas, calles. La inundación fue catastrófica en Badajoz, donde las aguas alcanzaron 2,30 m de altura
BAJO GUADIANA	1877	ENERO	GUADIANA	BADAJOS/MÉRIDA/MÉRTOLA (PORTUGAL)/SANLÚCAR	
ALTO GUADIANA	1877	SEPTIEMBRE	GUADIANA/ AMARGUILLO/ CIGÜELA/ VALDESPINO/ CAMBRÁN		
ALTO GUADIANA	1881	ENERO	GUADIANA/ CÓRCOLES/ ZÁNCHARA	SOCUÉLLAMOS	
ALTO GUADIANA	1888	ENERO	GUADIANA	TOMELLOSO	
ALTO GUADIANA	1888	MAYO	RIÁNSARES/ BÉDIJA	HORCAJO/VALISCA/TARANCÓN	
GUADIANA GENERALIZADA	1891	SEPTIEMBRE			otras causas además de la lluvia contribuyeron a agravar la magnitud de esta inundación

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
GUADIANA GENERALIZADA	1891	SEPTIEMBRE			inundación por lluvias torrenciales. "Las lluvias hacían correr las aguas intempestuosamente por rieras, ramblas, torrenteras y barrancos" (Font-Tullet, 1988)
ALTO GUADIANA	1891	SEPTIEMBRE	AMARGUILLO/GUADIANA/CIGÜELA/VALDESPINO/CAMBRÁN	CONSUEGRA/CAMUÑAS/VILLAFRANCA DE LOS CABALLEROS/TOMELLOSO/MALAGÓN/FUENTE DEL FRESNO/VILLARRUBIA	Las aguas alcanzaron una extensión de 900 m2. En Consuegra y una altura de 6-8 m. En Camuñas el agua llegó a 2 m. De altura
GUADIANA GENERALIZADA	1892	SEPTIEMBRE			INUNDACIÓN
GUADIANA GENERALIZADA	1892	SEPTIEMBRE			inundación
ALTO GUADIANA	1892	MARZO	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	el Ayo. Veguilla inundó varias casas inmediatas a sus cauces en Valdepeñas
ALTO GUADIANA	1893	SEPTIEMBRE	GUADIANA/CIGÜELA/ARROYO EN ROZALÉN	SAHELICES/ROZALÉN DEL MONTE/VILLARRUBIA DE LOS OJOS/NAVALPINO/FONTANAREJO	
ALTO GUADIANA	1897	SEPTIEMBRE	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	las 3 mujeres murieron al inundarse la parte baja de su casa situada en la calle de la Virgen. Las bodegas se inundaron y las tinajas fueron arrastradas por el agua. Las calles de la ciudad se convirtieron en canales
ALTO GUADIANA	1899	SEPTIEMBRE	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	
ALTO GUADIANA	1899	AGOSTO	ARROYO VEGUILLA	VALDEPEÑAS	
GUADIANA GENERALIZADA	1899	OCTUBRE	GUADIANA		
GUADIANA GENERALIZADA	1901	MAYO JUNIO	GUADIANA		
GUADIANA GENERALIZADA	1902	MARZO			
BAJO GUADIANA	1907	SEPTIEMBRE	LLUVIAS	HUELVA	
BAJO GUADIANA	1910	DICIEMBRE	GUADIANA/OJAILEN(ZÚJAR)	BADAJOS/PUERTOLLANO	
BAJO GUADIANA	1911	ENERO	GUADIANA	BADAJOS	
BAJO GUADIANA	1912	FEBRERO	GUADIANA/ODIEL	HUELVA/BADAJOS/MÉRIDA/BURGUILLO/HIGUERA DE LLERENA	fuertes y pertinaces lluvias, aumento de caudal, marea grande. Crecidas repetidas en Mérida
ALTO GUADIANA	1913		BAÑUELO	MALAGÓN	afectó la crecida a un canal en Malagón que no tenía contruido el vertedero regulador y , el agua saltó por encima de las dos compuertas del canal (cerradas en aquel momento) que desagúan al río, y rompió el canal en su Km. 1,400
GUADIANA GENERALIZADA	1915	MAYO	GUADIANA/ AZUER	CÍJARA/OTRAS	
GUADIANA GENERALIZADA	1916	DICIEMBRE	GUADIANA	CÍJARA/BADAJOS	
ALTO GUADIANA?	1917	MARZO	GUADIANA	POZUELOS DE CALATRAVA	Quedaron cortadas las comunicaciones y un pastor quedó aislado en un árbol durante 24 horas
GUADIANA GENERALIZADA	1917	FEBRERO	GUADIANA/BAÑUELOS/ RAMBLA CASTELAR	TOMELLOSO/TORRENUOVA/MALAGÓN/ BADAJOS	
ALTO GUADIANA	1919	FEBRERO	CIGÜELA	VILLARRUBIA DE LOS OJOS	el agua cubrió una franja de 16 Km. de largo por 800-900 m. de ancho (1500 Ha de área inundada, dadas las especiales características de la Vega)
BAJO GUADIANA	1920	MAYO	LLUVIA	HUELVA	subida de marea y lluvias torrenciales se sumaron en esta fecha
GUADIANA GENERALIZADA	1924	MARZO ABRIL	JABALON/ OJAILEN/ MATAHEL	PUERTOLLANO/ALANGE(BADAJOS)/GRANÁTULA DE CALATRAVA	Se calcularon 5.000.000 m3 de agua embalsada en los alrededores de Puertollano

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
GUADIANA GENERALIZADA	1926	FEBRERO	GUADIANA/ JABALÓN	BADAJOS	
ALTO GUADIANA	1926	NOVIEMBRE	GUADIANA/ JABALÓN	PORTILLO DE CÍJARA/ARAGONÉS	
ALTO GUADIANA	1927	ENERO	JABALON	ARAGONÉS	se registra el mismo caudal que en Noviembre de 1926
ALTO GUADIANA	1927	DICIEMBRE	JABALÓN	GRANÁTULA DE CALATRAVA	
ALTO GUADIANA	1928	ENERO	JABALÓN		
ALTO GUADIANA	1928	NOVIEMBRE	ZÁNCARA	EL PROVENCIO	la inundación se produjo en la parte de cabecera de la cuenca de el río Záncara
GUADIANA GENERALIZADA	1935	DICIEMBRE	GUADIANA	BADAJOS/PROVINCIA CIUDAD REAL	
ALTO GUADIANA	1936	ENERO	BULLAQUE	TORRE DE ABRAHAM	
GUADIANA GENERALIZADA	1936	FEBRERO	GUADIANA/ OLIVENZA/ ZÁNCARA	BADAJOS/OLIVENZA/CARRASCOSA DEL HARO	caieron 77,5 mm/m2 de lluvia en la provincia de Badajoz
BAJO GUADIANA	1939		ALJUCEN/OTROS	EXTREMADURA (ENTRE PORTILLO DE CÍJARA Y LA FRONTERA PORTUGUESA)	se produjeron socavones en las márgenes del río y depósitos de acarreo
BAJO GUADIANA	1940	FEBRERO	ODIEL/ARROYO BREJILLO/ARROYO CANILLAS/ARROYO SALINERO (TINTO)	SAN JUAN DEL PUERTO	en San Juan del Puerto, 3 afluentes del r. Tinto (Bajo Guadiana) produjeron una avenida al no poder desaguar el agua de la tormenta por las obras de cruce bajo los 3 arroyos. Confluencia de caudales y lluvias, falta de desagüe por obras de encauzamiento
ALTO GUADIANA	1941	FEBRERO	GUADIANA	CÍJARA/PUERTO PEÑA	
GUADIANA GENERALIZADA	1941	ENERO	GUADIANA/ RIVILLAS/ GÉVORA/ BAÑUELO/ JABALÓN/ AZUER/ TINTO	BADAJOS/MÉRIDA/ZARZA CAPILLA/ROBLEDO/PORZUNA/FERNAN CABALLERO/PUENTE DEL ARZOBISPO/MEMBRILLA/MANZANARES/ PUERTO DE MOGUER/SAN JUAN DEL PUERTO/ CÍJARA	gran área encharcada, el pantano de Gasset abrió sus puertas para aliviar agua
BAJO GUADIANA	1942	DICIEMBRE	GUADIANA	MÉRIDA	no llegó a cubrir el puente romano de Mérida
ALTO GUADIANA	1946		CIGÜELA	ARENAS DE SAN JUAN	el encharcamiento en zonas próximas al cauce hizo inseparable la tierra y causó fiebres palúdicas. Afectó a la carretera entre Ciudad Real y Puerto Lápice, cerca de Arenas de San Juan y al puente sobre el río Cigüela en la carretera Daimiel-Villarrubia de I
GUADIANA GENERALIZADA	1947	MARZO	GUADIANA		
GUADIANA GENERALIZADA	1947	ENERO	GUADIANA	CÍJARA/MONTIJO/SANLÚCAR DEL GUADIANA	
GUADIANA GENERALIZADA	1947	FEBRERO MARZO	GUADIANA/ GEVORA/ TROYA/ RIVILLA/ GUADARRANQUE	MONTIJO/VILLANUEVA DE LA SERENA/BADAJOS/ROCA DE LA SIERRA/ARGAMASILLA DE ALBA/TOMELLOSO/PEÑARROYA/VILLANUEVA DEL FRESNO/CABEZA DEL BUEY/ALMADÉN/FERNAN CABALLERO/GRAMEL/SANLÚCAR	la anchura del río en la presa de Montijo pasó de 400m a 1500m durante la crecida. Se produjo el reventón de la laguna del Rey. Se inundaron 19 Km2 en la provincia de Ciudad Real
BAJO GUADIANA	1947		TINTO	HUELVA	avenidas y crecidas repetidas y de las más importantes en esta región pero la destrucción del aforo en Huelva no permitió tener registro de ellas
BAJO GUADIANA?	1951	MARZO	GUADIANA	MONTIJO	modificada la obra de la presa de Montijo y destruida otra parte debido a la topografía del terreno
ALTO GUADIANA?	1952	MAYO	ARROYO TRIPERO	VILLAFRANCA DE LOS BARROS	la alta lluvia provocó una tromba de agua

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO GUADIANA	1952	ENERO	BAÑUELO		el agua sobrepasó 33 cm. el calado de la máxima sección del canal de alimentación de la presa de derivación
BAJO GUADIANA	1956	ENERO	GUADIANA	SANLÚCAR DEL GUADIANA	la inundación de 1956 y 1957 pueden ser la misma y no estar bien determinada la fecha
BAJO GUADIANA	1957	FEBRERO	GUADIANA	SANLÚCAR DEL GUADIANA	la inundación de 1956 y 1957 pueden ser la misma y no estar bien determinada la fecha
GUADIANA GENERALIZADA	1960	ENERO FEBRERO DICIEMBRE	GUADIANA		inundaciones locales
BAJO GUADIANA	1961	DICIEMBRE	GUADIANA/ ZÚJAR	BADAJOS/MÉRIDA/ALANGE/VILLANUEVA DE LA SERENA	importantes inundaciones
ALTO GUADIANA	1962	FEBRERO	BULLAQUE	LUCIANA	la avenida desbordó la estación de aforos de Luciana
ALTO GUADIANA	1962	NOVIEMBRE	BULLAQUE	LUCIANA	por segunda vez en el año el río Bullaque desbordó la estación de aforos de Luciana
BAJO GUADIANA	1962	ENERO	GUADIANA/ LLUVIAS	HUELVA	53 l/m2 de lluvia cayeron en 24 horas. fuerte temporal de lluvias
BAJO GUADIANA	1962	ENERO	GUADIANA/ ZÚJAR	BADAJOS/MÉRIDA/ALANGE/VILLANUEVA DE LA SERENA	importantes inundaciones
BAJO GUADIANA	1962	MARZO	ODIEL	HUELVA	
BAJO GUADIANA	1963	FEBRERO ENERO	GUADIANA/ RIVILLAS/LIMONETES	BADAJOS/VILAFRANCA DEL GUADIANA/BALBOA	100 Hm3 embalsados en el embalse del Zújar
BAJO GUADIANA	1963	DICIEMBRE	LIMONETES/ NOGALES/ CHINAS/ PIEDRAS	BALBOA	anegadas zonas de agricultura
BAJO GUADIANA	1964	MARZO	GUADIANA	BADAJOS	
BAJO GUADIANA	1964	FEBRERO	GUADIANA/ GÉVORA/ RIVILLAS/ ALBARREGAS/ LORIAMILLA/ RIVERA DE ALCONCHES	BADAJOS/MÉRIDA/SAGRAJAS/CALAMONTE/VALDIVIA/ROCA DE LA SIERRA/TÁLIGA/ORELLANA	
BAJO GUADIANA	1964	FEBRERO	LLUVIAS	HUELVA	lluvias torrenciales, tromba de agua
BAJO GUADIANA	1965		GUADIANA/ LLUVIAS/ LIMONETES	HUELVA/OTROS	71 l/m2 de lluvia cayeron en Huelva. Subida de la marea. Anegaciones e inundaciones cerca de la confluencia de los ríos Limonetes y Guadiana. A partir de esta fecha se encauzó el Limonetes
BAJO GUADIANA	1966	OCTUBRE	LLUVIAS	HUELVA	37,6 l/m2 de lluvia. La población se convirtió en una laguna
BAJO GUADIANA	1967	NOVIEMBRE	LLUVIAS	HUELVA	80 l/m2 de lluvia. Las calles se convirtieron en ríos. Las lluvias registradas eran extremas en la zona. Las aguas quedaron retenidas durante horas
BAJO GUADIANA	1968	MARZO	LLUVIAS	HUELVA	50 l/m2 de lluvia. Calles convertidas en ríos
BAJO GUADIANA	1968	NOVIEMBRE	LLUVIAS	HUELVA/AYAMONTE	calles anegadas. Lluvias torrenciales de extraordinario volumen. Cayeron 33 l/m2 en Huelva y 120 l/m2 en Ayamonte
BAJO GUADIANA	1969	MARZO	GUADIANA/ BURDALO/ RUECAS/ ALCAZABA/ ZÚJAR/ ARROYO CAPARAL/ GARGÁLIGAS/ GUADALEMAR/ ALCOLLARÍN/ LLUVIAS (2 veces)	HUELVA/MÉRIDA/MONTIJO/BADAJOS/TORREMAYOR/CLARAMONTE/ALCAZABA/BALDEBOTOA/VILLAR DEL REY/POZUELOS	16 l/m2 de lluvia. Se repitió en Huelva días después. Calles anegadas y convertidas en ríos. Hubo tres inundaciones ese mes y ese año. Hubo evacuaciones, 2696 Ha inundadas en el término municipal de Badajoz, daños en agricultura e infraestructuras



CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
BAJO GUADIANA	1969	DICIEMBRE	RIVILLAS	BADAJOS	
BAJO GUADIANA	1970	DICIEMBRE	LLUVIAS	HUELVA	109 l/m2 de lluvia. Inundadas las partes bajas de Huelva
BAJO GUADIANA	1970	ENERO	ZÚJAR/ GARGÁLIGAS/ ALBARREGAS/ GUADIANA/ GUADAJIRA/ LIMONETES/ RIVILLAS/ GÉVORA/ ZAPATÓN/ ARROLLO GUERRERO/ ALCAZABA	BADAJOS/MONTIJO/BARBAÑO/BALBOA/ MÉRIDA/SANTA AMALIA/VILLANUEVA DE LA SERENA/TALAVERA LA REAL/ JOBÓN/ALMENDRALEJO/PEÑARROYA/ DON BENITO/ZAFRA/LLERENO/ BARCARROTO/TALARRUBIAS	más de 80 l/m2 de lluvia. No hubo más daños gracias a las obras de regulación. En Mérida el agua alcanzó su nivel máximo. Se hundió el puente El Prior en Peñarroya al no poder aguantar la presa el volumen de agua
BAJO GUADIANA	1972	OCTUBRE	LLUVIAS	HUELVA	37 l/m2 de lluvia
ALTO GUADIANA	1972	NOVIEMBRE	ZÁNCARA/RUS	EL PROVENCIA/SAN CLEMENTE	
ALTO GUADIANA	1975		GUADIANA	CÍJARA/GARCÍA DE SOLA	
BAJO GUADIANA	1976	DICIEMBRE	ZÚJAR/ ORTIGAS/ GUADAMEZ		
ALTO GUADIANA?	1977	DICIEMBRE	ARROYO PILAR/ VALDEMEDIO/ VILLEFORERO/ LAS MORERAS/ GAGA	LEPE	El casco urbano de Lepe está construido en la confluencia de varios arroyos, la infraestructura ocupa este punto de confluencia y el desagüe de estos arroyos en caso de lluvia es insuficiente
BAJO GUADIANA	1977	ENERO FEBRERO	ARROYO SALINERO	TRIGUEROS	
BAJO GUADIANA	1977	ENERO	LLUVIAS	HUELVA	50 l/m2 de lluvia. viviendas, calles, chabolas, carreteras
BAJO GUADIANA	1978	ENERO	ARROYO TRIGUEROS/ CANILLAS/ SALINER/ BREJILLO/ ARROYO POZO DEL PILAR/ VALMEDIO/ VALLEFORERO/ LAS MORERAS/ GAGA/TINTO	LEPE/SAN JUAN DEL PUERTO	115 l/m2 de lluvia y 15 Ha inundadas. incapacidad de desagüe en la confluencia de los arroyos de Lepe. Formación de balsas e inundación por esta falta de desagüe
BAJO GUADIANA	1978	DICIEMBRE	GARGALIGAS/ CUBILAR	ORELLANO/SIERRA DE RELA/	daños en la zona regable
BAJO GUADIANA	1978	ENERO FEBRERO	GUADIANA	SAN LÚCAR DEL GUADIANA	
ALTO GUADIANA	1979	JULIO	ARROYO VEGUILLA/ JAROSA	VALDEPAÑAS	La precipitación caída en 3-4 horas fue de 86 mm con una intensidad 50 mm/h <sup>2</sup> . La mayor incidencia de la lluvia fue sobre un área de 20 Km2 en la parte baja de la cuenca. El caudal máximo descargado por los arroyos fue de 150 m3/seg. El agua fue retenida en el cuenco del colector cerrado hasta alcanzar los 2 m de altura que produjeron la posterior onda de avenida Confluencia del agua de los arroyos más agua de escorrentía de los cauces cercanos y características físicas de la cuenca favorecedoras de las inundaciones en esta zona
BAJO GUADIANA	1979	DICIEMBRE	BREJILLO/ CALILLAS/ SALINERO/ TINTO	SAN JUAN DEL PUERTO/NIEBLA	imposibilidad de desagüe debido a las características topográficas de la zona, formación de embalses y posterior avenida
BAJO GUADIANA	1979	ENERO	GARGALIGAS/ CUBILAR	ORELLANO/SIERRA DE RELA/	daños en la zona regable
BAJO GUADIANA	1979	FEBRERO	GUADIANA	BADAJOS	las carreteras fueron anegadas por los arrastres procedentes de las tierras de labor
GUADIANA GENERALIZADA	1979	ENERO	GUADIANA/ ZÚJAR/ BULLAQUE/ BAÑUELOS/ LLUVIAS	LOS CORTIJOS/MALAGÓN/FERNANCABALLE RO/PIEDRABUENA/LUCIANA/LEPE	En Lepe se unieron la lluvia y la marea. El canal de alimentación al pantano de Gasset quedó cortado por obras

CUENCA	AÑO	MES	RÍOS AFECTADOS	POBLACIONES AFECTADAS	COMENTARIOS
ALTO GUADIANA	1979	SEPTIEMBRE	RUS/ RIÁNSARES	EL CAÑAVETE/CORRAL DE ALMAGUER	corte de la carretera Honrubia-San Clemente. Señales de altura del agua en las casas de El Cañavete
BAJO GUADIANA?	1980	FEBRERO	CHANZA		rotura de la presa de Chanza, rotura de gran parte de la ataquía de tierras del canal
BAJO GUADIANA?	1983	NOVIEMBRE OCTUBRE	GUADIANA/ OTROS/ARROYO POZO DEL PILAR/ VALDEMEDIO/ VALLEFORERO/LAS MORERAS/GAGA/ BREJILLO/CANILLAS/ SALINERO/CAÑUELO/ CAÑADAS/ ALAMILLO/ GÉVORA/ZAPATÓN/ ALBARREGAS	LEPE/SAN JUAN DEL PUERTO/LA PALMA DEL CONDADO/BADAJOS/MÉRIDA/PEÑA DEL ÁGUILA/ORELLANA	hubo tres inundaciones ese año y en esos meses. Imposibilidad de desagüe en la población, unido al temporal, las características topográficas de la zona, mal estado de la red de evacuación de agua, arrastre de material del campo, agravaron la situación
BAJO GUADIANA	1983	DICIEMBRE	LÁCARA/ARROYO DEL LUGAR/TINTO	CORDOVILLA DE LÁCARA/NAVA DE SANTIAGO/ORELLANA/NIEBLA	
BAJO GUADIANA?	1984	DICIEMBRE	LACARÓN	TORREMAYOR	problemas de desagüe en el encauzamiento, viviendas anegadas
BAJO GUADIANA?	1985	ENERO	LACARÓN	TORREMAYOR	problemas de desagüe en el encauzamiento, viviendas anegadas
BAJO GUADIANA?	1985	ENERO	RUECAS/ GUADALUPEJO		82 l/m2 de lluvia. Carreteras cortadas. El temporal provocó desbrodamientos en la mayor parte de ríos de Cáceres
ALTO GUADIANA	1996	AGOSTO	AZUER/GUADIANA		se produjeron derrumbes y procesos de piping en la confluencia Azuer-Guadiana
ALTO GUADIANA	1997	ENERO	RIANSARES/ZÁNCARA -CIGÜELA		La llanura de inundación entre el cauce del Zánacara y el Cigüela, mantuvo encharcamientos durante largo tiempo, en el término de Quintanar de la Orden y alrededores los encharcamientos duraron al menos dos meses

**Tabla 3.4** - Registros de inundaciones históricas en la cuenca del Guadiana

## 4. ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES DE INUNDACIÓN Y DE PRECIPITACIÓN

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Las series históricas de inundación y precipitación son series temporales, y como tales requieren un tratamiento estadístico específico para conocer su comportamiento. Una serie temporal se define como una sucesión de observaciones correspondientes a una variable en distintos momentos de tiempo, que puede tener una periodicidad anual, semestral, mensual, etc. según los períodos de tiempo en que vengán recogidos los datos que la componen (*William Wei, 1989; Box y Jenkins, 1970; Rodríguez Morilla, 2000*)

En este caso, se han analizado las series históricas de precipitaciones e inundaciones registradas en las cuencas de los ríos Tajo, Guadiana, Júcar y Segura, aplicando diversos métodos estadísticos que permiten determinar las características de estas series de datos, su posible tendencia y oscilación y, a partir de ello, el grado de relación existente entre la ocurrencia de inundaciones y la magnitud de las precipitaciones en las citadas cuencas. Las series históricas de precipitación analizadas abarcan desde el año 1854 hasta el 1985, y las de inundaciones desde 1500 hasta 1985. Existen algunos datos históricos de inundación anteriores a 1500, pero es a partir de esta fecha cuando el registro se hace más continuo y, por tanto, más adecuado para su análisis.

El estudio comparativo de las relaciones entre las precipitaciones y las inundaciones en las cuatro cuencas estudiadas y de su evolución espacio-temporal, así como el conocimiento de las situaciones atmosféricas relacionadas con las inundaciones que ya se han analizado en capítulos anteriores, permitirá determinar las pautas climáticas que pueden influir en la generación de inundaciones en el Centro Peninsular y elaborar un modelo de comportamiento para estas. El objetivo principal de este capítulo, por tanto, es la identificación de posibles tendencias y ciclos dentro de las series históricas de precipitación e inundaciones y el análisis comparativo de las mismas, con el fin de determinar si existe relación entre períodos de ocurrencia de inundaciones y los períodos de máximas precipitaciones, y conocer las diferencias entre las distintas cuencas. Se trata al mismo tiempo de identificar las variaciones climáticas que se han producido en los años estudiados y su posible influencia en las inundaciones.

Para ello se han analizado los datos de las inundaciones históricas ocurridas en las cuatro cuencas (Tajo, Guadiana, Júcar y Segura) recopiladas a partir de las diversas fuentes de información (*Comisión Nacional de Protección Civil, 1983 y 1985; MOPU, 1993; Font Tullot, 1983 y 1988, etc. -ver apartado 9.1 de la Bibliografía-*). Así mismo, se han utilizado las series de precipitaciones históricas desde 1854 a 1940 (*Servicio Meteorológico Nacional, 1943*) en diversas estaciones meteorológicas de las cuatro cuencas. Estas series históricas se han completado con los datos recientes de precipitación (1940-1999), proporcionados por el *Instituto Nacional de Meteorología*. Los datos analizados, por tanto, han sido los siguientes:

- Precipitación total anual.- Series históricas de precipitación, entre los años 1854 y 1999, en las estaciones de Madrid, Alicante, Ciudad Real, Badajoz, Toledo, Albacete, Murcia y Valencia, que es donde se dispone de las series históricas más largas de precipitación.
- Precipitación total de invierno y otoño.- Las precipitaciones en estas épocas del año son las más relacionadas con las inundaciones en la zona de estudio, por lo que se han analizado también aisladamente.
- Número de Inundaciones en las cuencas del Guadiana, Tajo, Júcar y Segura entre los años 1400 y 1985.

Una vez seleccionadas y completadas las series temporales, se han analizado, en primer lugar, de forma individual las series históricas de precipitaciones y las de inundaciones, definiendo gráficamente su evolución temporal general. Para un análisis más detallado, se han aplicado métodos de suavizado y filtrado de los datos, como la media móvil, y se ha estudiado la relación existente entre las precipitaciones y las inundaciones en las distintas cuencas.

A continuación se han tratado estadísticamente estas series temporales, definiéndose previamente las características y naturaleza de los datos a analizar mediante diversos test de aleatoriedad y el método de autocorrelación, que ayudan a conocer la naturaleza aleatoria o determinista de las series temporales. La naturaleza de las series determina la elección de la metodología a utilizar para la modelización estadística y definición del comportamiento de las mismas.

Seguidamente se han estudiado de forma más detallada las relaciones existentes entre las series históricas de precipitaciones e inundaciones, teniendo en cuenta su diferente naturaleza. Para ello se han aplicado diversos métodos estadísticos como son la correlación no paramétrica o correlación de Spearman, el análisis de la varianza (ANOVA) y la regresión logística (*Murray y Larry, 2002; Swan y Sandilands, 1995; Afifi & Clark, 1998; Peña, 1989*).

Por último, y en función de la naturaleza de las series temporales, se han seleccionado y aplicado diversos métodos que permiten analizar su posible ciclicidad o sucesión de períodos secos y húmedos (*Rodríguez Morilla, 2000; Swan y Sandilands, 1995; William y Wei, 1989*). El estudio de períodos secos y húmedos se ha llevado a cabo mediante el análisis de la desviación típica acumulada y los coeficientes de variación de Pearson y los métodos de Foley y Gibbs & Maher (*Flores y Campos Aranda, 1998*). Se han seleccionado estos métodos por considerar que presentan una clara interpretación gráfica, pero existen otras metodologías para el estudio de períodos secos y húmedos, basadas también en el cálculo de la desviación de cada dato respecto a la media general de la serie (*Hernández y Llamas, 1995*).

## 4.2. LAS SERIES DE INUNDACIONES

### 4.2.1. ANÁLISIS GENERAL DE LAS INUNDACIONES

Las inundaciones son series temporales que pueden contener tendencias. Para ver si existen se han representado gráficamente las inundaciones históricas registradas en las cuencas del Tajo, Guadiana, Segura y Júcar, analizando sus variaciones a lo largo del tiempo. Los datos de inundaciones son más difíciles de tratar al no ser una variable numérica continua, si no que lo que se registra es la ocurrencia o no de avenidas en un año determinado. A su vez una misma crecida puede manifestarse al mismo tiempo en lugares diferentes, o también repetirse varias veces a lo largo del año en el mismo punto.

Para poder representar gráficamente estos valores, en primer lugar, se han agrupado por décadas el número de registros históricos de inundación desde el año 1500 en cada una de las cuatro cuencas (Tajo, Guadiana, Segura y Júcar). Según esta primera representación, se observa un incremento en la ocurrencia de inundaciones en las cuatro cuencas desde finales del siglo XVIII hasta la actualidad (*Gráfico 4.1*).

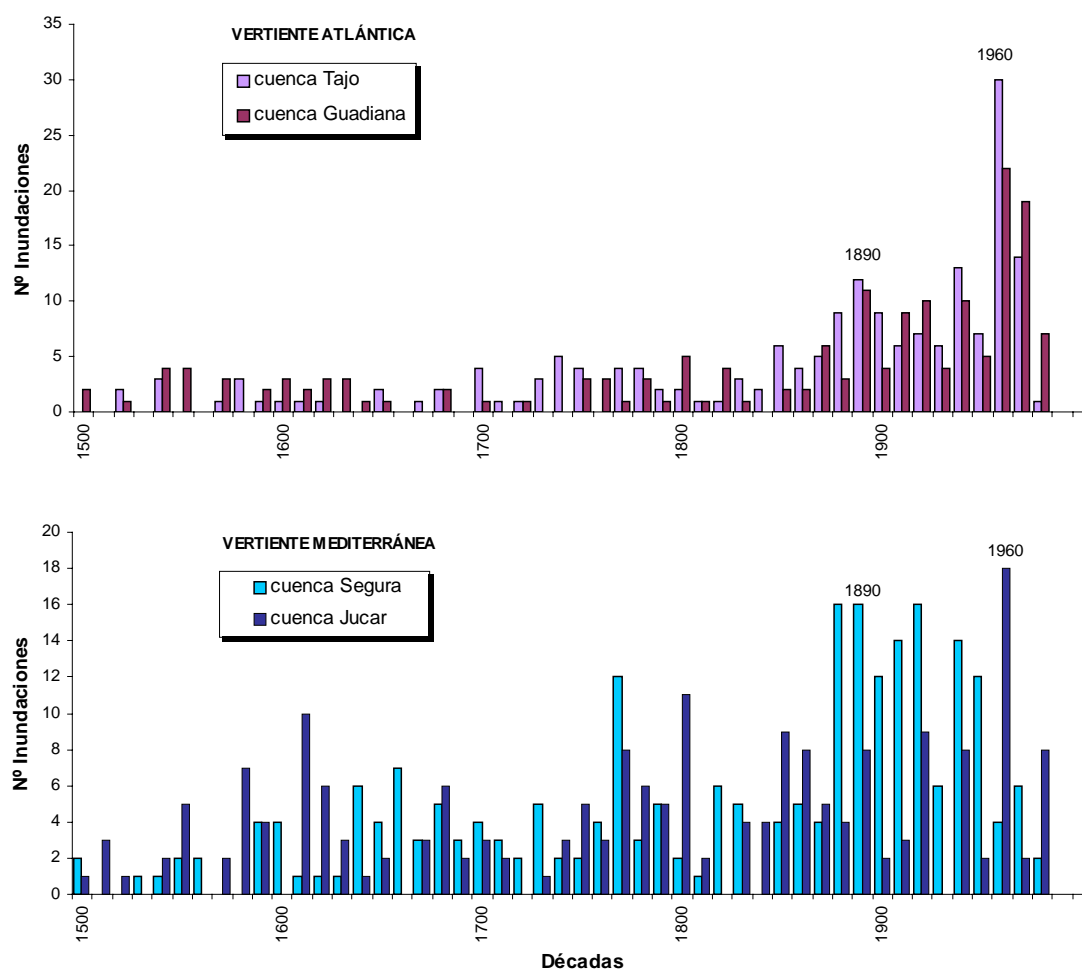
Los registros de inundaciones históricas además son difíciles de comparar pues influye más una componente de subjetividad o casualidad. Así, por ejemplo, se ve una gran diferencia entre los registros de inundaciones de las vertientes atlánticas y mediterráneas. En la vertiente atlántica los registros son escasos, pero bastante homogéneos, hasta finales de 1800 y luego aumentan súbitamente, especialmente desde mediados del siglo XX, a pesar de la alta regulación de la cuenca en esta última época.

Por el contrario, el registro es relativamente más homogéneo para las cuencas mediterráneas, en donde, aunque también aumenta el número de inundaciones en los últimos 150 años, ocurre de una forma más equilibrada.

Para entender estos hechos tenemos que plantearnos la homogeneidad y, por tanto, la fiabilidad de las series. En este sentido cabe señalar el estudio de *Martín Vide (1997)* en que, aplicando el test de Poisson a las series de inundaciones de varias ciudades españolas, llega a la conclusión que las avenidas catastróficas sí guardan un registro homogéneo, mientras que no lo hacen las menos importantes. Esto podría explicar la desigualdad de las series de ambas vertientes. En las cuencas del Tajo y del Guadiana posiblemente solo se guarda el registro de las grandes avenidas históricas, y en los núcleos importantes de población. Sin embargo, el registro a partir del último siglo es mucho mayor, pues existe referencia a todas las avenidas, aunque no tengan carácter catastrófico. En las cuencas mediterráneas, especialmente en la del Júcar, la situación es algo diferente. El sistema de regadío por acequias hace que se conserve un registro más detallado de inundaciones que pueden ocasionar daños en ellas y en las tierras de cultivo, aunque no tengan un carácter realmente excepcional. Por otra parte, también el tipo de las inundaciones en Levante presenta una diferencia con las atlánticas, al no tener el carácter de crecidas permanentes, y dominar el tipo más torrencial de las riadas mediterráneas.

El análisis comparativo entre las cuencas atlánticas (Tajo y Guadiana) y las cuencas mediterráneas (Júcar y Segura) muestran una tendencia general similar en ambas vertientes, en cuanto a la ocurrencia de inundaciones, aunque se aprecian algunas diferencias estudiando los registros con más detalle. Así, en la vertiente Atlántica, desde la mitad del siglo XX hasta la actualidad, hay un incremento mayor de inundaciones en comparación con las cuencas mediterráneas. En todas las cuencas, destacan dos períodos con una alta ocurrencia de inundaciones, alrededor de los años 1890 y 1960. Aproximadamente en el año 1920, se da un tercer período destacable, aunque menos significativo que los anteriores (*Gráfico 4.1*). Al comienzo de ambos siglos, en las décadas de 1810 y 1910, se produce un descenso importante en el número de inundaciones (*Potenciano & Garzón, 2002*).

En estos dos últimos siglos XIX y XX se observa un descenso en el registro en la primera mitad del siglo y un aumento en la segunda mitad.



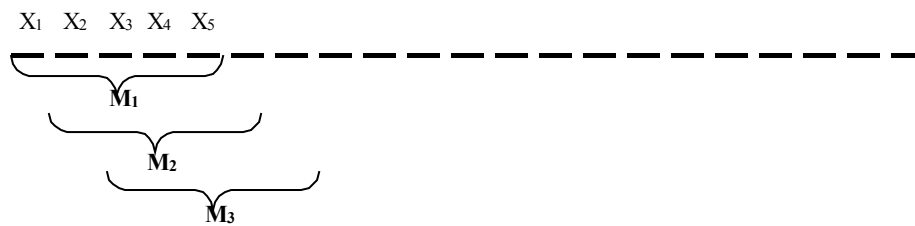
**Gráfico 4.1** - Comparación de inundaciones históricas por décadas en las vertientes atlántica y mediterránea

#### 4.2.2. ANÁLISIS DE LAS SERIES SUAVIZADAS DE INUNDACIONES

La situación anterior tiene una interpretación más lógica si comparamos estas series ya suavizadas con una media móvil de 30 años, y si nos fijamos sobre todo en los picos de inundaciones, más que en los valores relativos. A continuación se explica brevemente el método de suavizado aplicado.

Las series de inundación son series temporales y como tal pueden contener tendencias y ciclos. La tendencia refleja la dirección del movimiento de una determinada variable a lo largo del tiempo y permite comprobar si, a largo plazo, la serie adopta un crecimiento, decrece o se estabiliza.

Para estudiar estas posibles tendencias y ciclos se ha aplicado un suavizado a las series de inundación. Los métodos de suavizado consisten en la aplicación de una función estadística básica, como la media, a los datos de la serie temporal agrupados en intervalos regulares de tiempo. Los datos, por tanto, se agrupan en una “ventana” de longitud constante, que se va trasladando a lo largo de la serie y dentro de la cual se aplica la operación estadística correspondiente. Uno de estos métodos de suavizado es la media móvil (*Figura 4.1*), seleccionado para este estudio por ser uno de los de uso más extendido en el análisis de series climáticas.



**Figura 4.1** – Método de cálculo de la media móvil (M). En este ejemplo el tamaño de la ventana abarca 5 valores

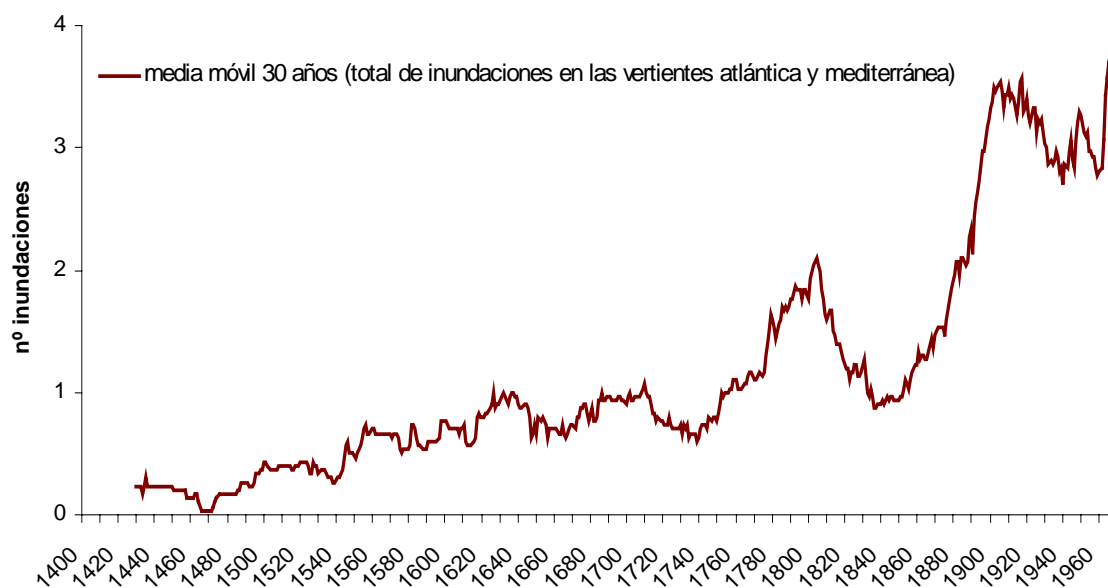
Con este proceso se consigue el filtrado, suavizando las variaciones a corto plazo y los posibles valores anómalos. Este suavizado es especialmente útil en las series que presentan aleatoriedad, ya que ayuda a interpretar las posibles tendencias existentes, que estudiando los datos originales serían difíciles de distinguir (*Rodríguez Morilla, 2000; Swan y Sandilands 1995; William y Wei, 1989*).

El tamaño de la ventana en los métodos de suavizado lo determina, fundamentalmente, la longitud de la serie a analizar y el grado de suavizado que queramos conseguir (*Rodríguez Morilla, 2000; Camuffo et al, 2000*). Los tamaños pequeños de ventana permiten extraer la tendencia a largo plazo pero sin perder las variaciones a más corto plazo que pueden dar también información importante sobre el comportamiento de la serie temporal.

De este modo, al ir trasladando la ventana de cálculo de la media a lo largo de la serie se van reflejando las variaciones temporales parciales de la serie y al mismo tiempo se consigue el suficiente suavizado para analizar la tendencia con más claridad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se ha seleccionado para un primer análisis de suavizado de las series históricas de inundaciones, debido a su gran longitud, un tamaño de ventana de media móvil de 30 años (*Gráfico 4.2*), como suelen emplear la mayoría de los autores (*Barriendos y Martín Vide, 1998; Rodríguez et al, 1994; Glaser y Stangl, 2003*).





**Gráfico 4.2** – Inundaciones históricas en el total de las cuatro cuencas y suavizado por media móvil de 30 años

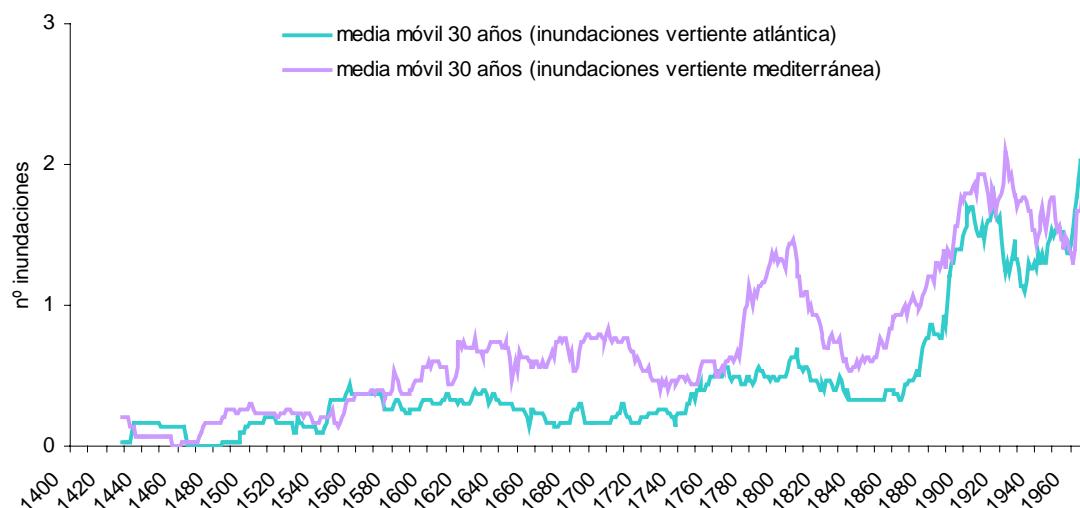
Los períodos preferentes de inundaciones se hacen mucho más patentes si consideramos el conjunto de avenidas en ambas vertientes (*Gráfico 4.2*). Con lo que se pone realmente de manifiesto las sequías relativas de mediados del XVIII y XIX, y los períodos de inundaciones en los tránsitos de siglo para las dos vertientes peninsulares, aunque se diluyen así el resto de matizaciones obtenidas más adelante en los análisis desglosados.

Una vez aplicado el suavizado, en las cuatro cuencas se observan tres etapas importantes en cuanto a la generación de inundaciones en el centro de la Península: desde 1550 hasta 1620, desde 1630 hasta 1750, con pequeñas oscilaciones intermedias, y desde mediados del XVIII hasta 1850 y, sobre todo, se observa un incremento general de inundaciones a partir del siglo XVIII hasta la actualidad, aunque este incremento sea por la mayor cantidad de información histórica disponible. Estas oscilaciones en la ocurrencia de inundaciones coinciden aproximadamente con lo observado por otros autores en otras cuencas peninsulares, así por ejemplo *Barriendos y Martín Vide (1998)* definen tres etapas de oscilación de inundaciones en la costa mediterránea: entre 1570 y 1630, entre 1760 y 1800, y entre 1830 y 1870.

Al comparar el conjunto de las avenidas de ambas vertientes, los datos se diluyen un tanto, para los siglos XVI, XVII y XVIII. Este análisis comparativo entre las cuencas atlánticas y mediterráneas muestra un cierto paralelismo, aunque con algunas diferencias importantes (*Gráfico 4.3*): en primer lugar, se observa un incremento de inundaciones en las cuencas mediterráneas en el siglo XVII, concretamente entre mediados de 1600 y 1700, que se debe sin duda al efecto parcial de la falta de inundaciones en el Segura a principios del siglo XVII, puesto que las del Júcar sí disminuyen en esta época, mientras que las atlánticas en este siglo no

registran gran número de eventos. Las cuencas atlánticas, sin embargo, presentan un mayor aumento de inundaciones desde mitad del siglo XX con respecto a las cuencas mediterráneas. Sin embargo, se mantienen para ambas vertientes los picos de los tránsitos de los siglos XVIII-XIX y XIX-XX, con el significativo descenso de mediados de 1800.

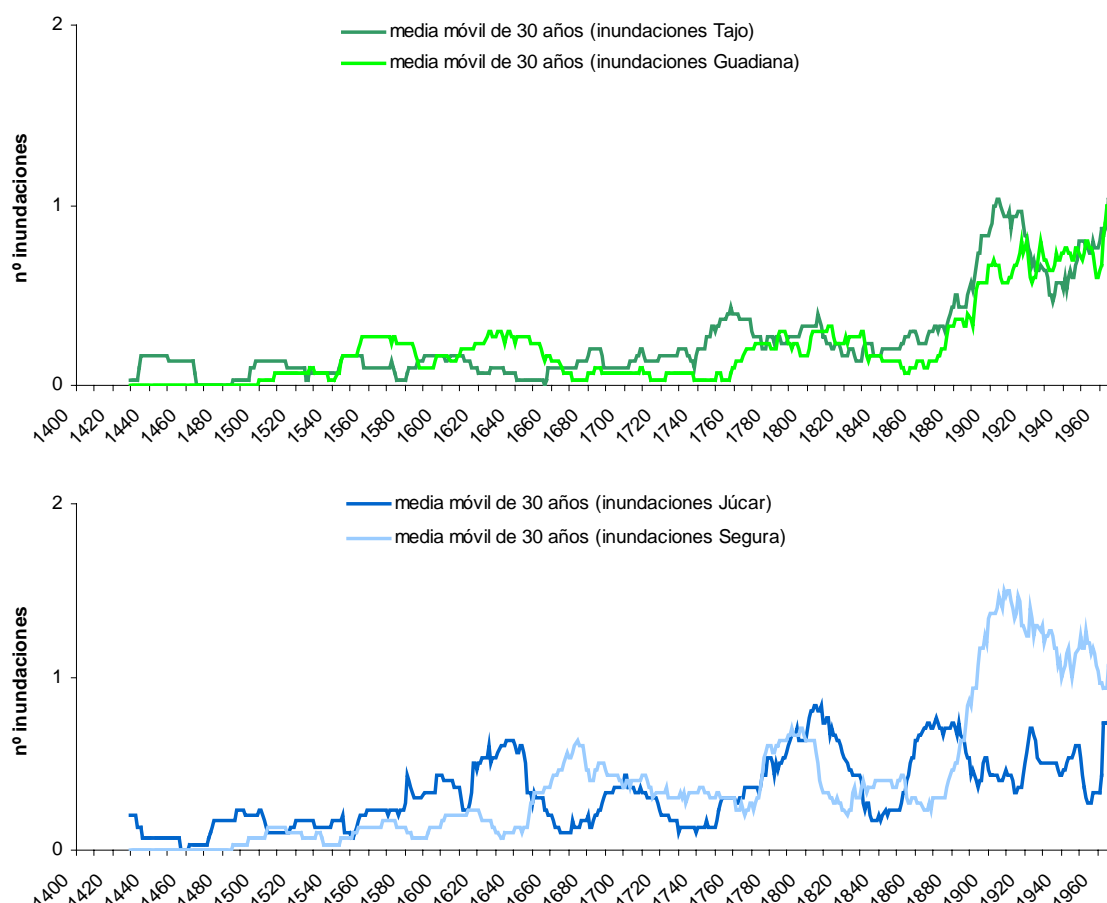
Se observa también que las dos cuencas atlánticas, Tajo y Guadiana, tienen una tendencia similar de la evolución temporal de las inundaciones, pero no ocurre lo mismo en las cuencas mediterráneas, Júcar y Segura, sobre todo a partir de 1925 (*Gráfico 4.4*).



**Gráfico 4.3** - Comparación de medias móviles de inundación entre las vertientes atlántica y mediterránea

Los picos de inundaciones del Tajo y del Guadiana guardan bastante buena relación entre sí, especialmente a partir del siglo XIX. Se presenta una etapa de inundaciones más importante desde mediados de 1500 a mediados de 1600, con dos picos, aunque algo desfasados en ambos ríos. Sigue un período de descenso hasta mediados de 1700 que se mantiene también con dos picos hasta mediados de 1800 dónde, después de un marcado descenso, comienza un incremento importante a partir de 1880. Este pico es bastante parecido en ambos ríos y se mantiene hasta 1920, desde donde se produce un descenso hasta 1960.

El desarrollo no es tan paralelo para las cuencas mediterráneas. El aumento de avenidas de 1560 y 1640 se produce fundamentalmente para el Júcar, mientras que el Segura ofrece solo dos pequeños montículos que tienen sus cúspides en 1570 y 1620, lo que implica un cierto adelanto sobre los picos del Júcar. Sin embargo, ambas cuencas muestran un pico de avenidas en el tránsito 1600-1700, un tanto adelantado en el Segura respecto al Júcar. Después de un descenso a mediados de siglo, ambas cuencas presentan un pico a principios de 1800, de nuevo más adelantado en el Segura.



**Gráfico 4.4** – Medias móviles de 30 años de las inundaciones en las cuencas atlánticas y mediterráneas respectivamente

El siglo XIX presenta más irregularidades entre ambas cuencas, pues un suave pico de mediados de siglo del Segura coincide con la sequía en el Júcar, luego las grandes avenidas del cambio de siglo se desplazan hacia 1910 en el Segura, mientras que en el Júcar ocurren en 1870-80. Según esto los picos del Segura coinciden aproximadamente con los del Júcar, aunque éstos siempre están más adelantados, en unos casos más que en otros. Así mismo, la magnitud de estos picos tampoco es equivalente. En unos casos son mayores los del Júcar y en otros los del Segura.

Otra forma de enfocar el análisis de los gráficos es que las avenidas del Segura coinciden en muchos casos con las vaguadas de sequías en el Júcar. Esto es muy evidente en el caso del siglo XIX en que la gran sequía del Júcar da un pequeño pico de avenidas en el Segura

En conclusión, se puede decir que si se comparan ambas vertientes, aparecen dos períodos claros de inundación en los tránsitos de los siglos XVII-XVIII y XIX-XX a nivel peninsular, con oscilaciones más secas intermedias. Los datos del siglo XX resultan más difíciles de interpretar

dado las diferentes condiciones documentales, por una parte, con mayor número de registros sin homogeneidad en su significado, pero a su vez contradictoria con una mayor regulación de los ríos. Los datos anteriores a 1700 presentan así mismo más dificultad de tratamiento conjunto, por su componente esporádico. Si aislamos los datos por vertientes, observamos que la vertiente atlántica muestra más similitud entre sus ríos, el Tajo y el Guadiana, que pudiéndose diferenciar, además de los señalados, otro período de aumento de inundaciones desde mediados de 1500 hasta mediados de 1600.

Las avenidas del Júcar y Segura, aún presentando un número de picos equivalentes, muestran un cierto desfase, con falta de coincidencia de estos picos. En el Júcar además de los dos picos generales definidos para ambas vertientes, se definen también como para la atlántica, el de tránsito entre los siglos XVI-XVII, y además uno más pequeño a principios de 1700. Esta distribución es más irregular para el Segura.

### **4.3. LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN**

#### **4.3.1. ANÁLISIS GENERAL DE LAS PRECIPITACIONES**

Estas marcadas coincidencias en la oscilación de las inundaciones entre las cuencas y el manifiesto aumento de las mismas en períodos concretos, permiten suponer la existencia de determinados patrones climáticos que induzcan su dominancia en esos momentos. Por ello, a continuación se lleva a cabo un estudio de las series de precipitación que nos permitan identificar también posibles pautas en estos registros, y compararlas con los de las inundaciones.

El principal problema con que se cuenta es que las series de precipitación, aunque son registros mejor cuantificables, disponen de una longitud de datos mucho más corta. De hecho de la mayoría de las estaciones se dispone de datos desde 1854, hasta la actualidad y, como hemos comentado antes, es precisamente en el siglo XX donde los registros de avenidas son más difíciles de tratar, dada la anisotropía de las fuentes de información y la regulación de los ríos.

En primer lugar se han estudiado las variaciones temporales generales de las series de precipitación anual de cada cuenca mediante una primera representación gráfica individualizada de las mismas. En cada estación meteorológica analizada se observan unos períodos de máxima precipitación, que ya en algunos casos aparecen muy marcados:

### 4.3.1.1. Las estaciones atlánticas

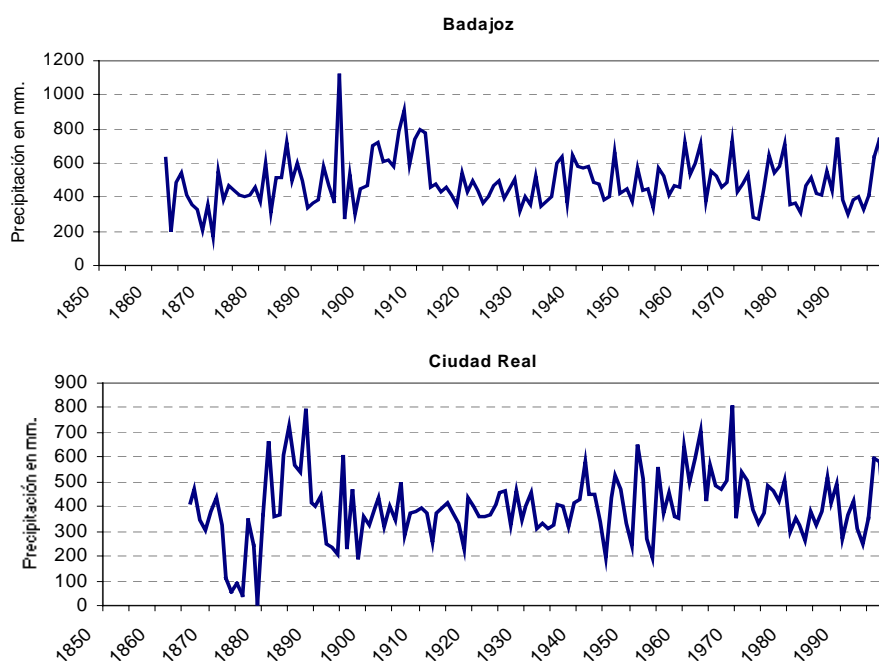
En la mayoría de estaciones de la vertiente atlántica (*Gráfico 4.5 y Gráfico 4.6*), las precipitaciones anuales oscilan entre valores mínimos de 200 mm. y máximos de 800 mm, con medias entorno a los 400 mm.

En Badajoz, se registran valores mínimos de 171 mm. y máximos de 1118 mm., y la precipitación media de la serie es de 487 mm. En esta estación se observa una época de precipitaciones muy altas entre los años 1895 y 1910, y a partir de 1935 se aprecian picos de precipitación alta cada cinco años, aproximadamente.

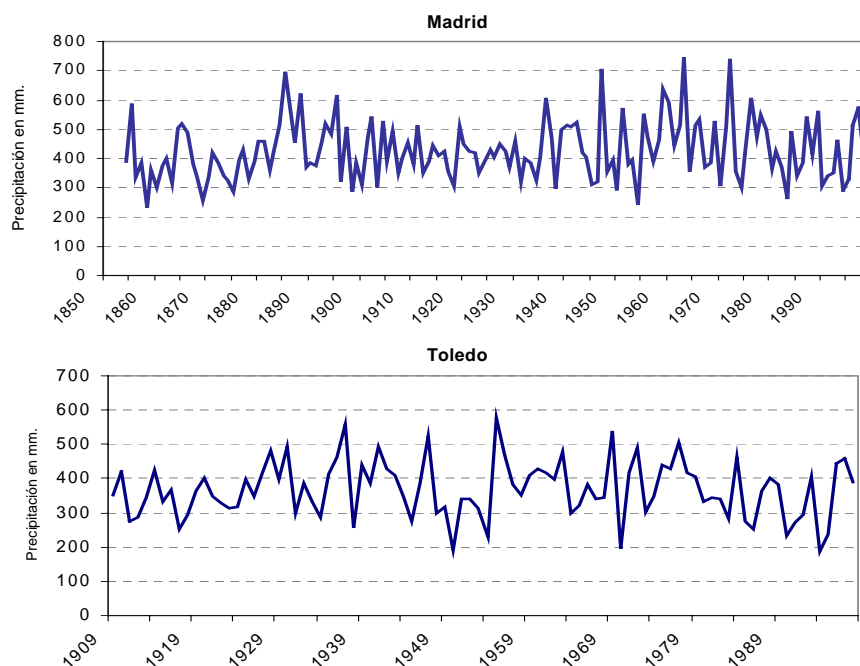
En Ciudad Real se registran precipitaciones mínimas de 54 mm. y máximas de 811 mm. y la media de la serie está entorno a los 397 mm. En esta estación se observan dos períodos de precipitaciones altas: uno entre 1882 y 1897 y un segundo período entre 1942 y 1971.

En Madrid, con precipitaciones mínimas de 231 mm, máximas de 746 mm y medias de 428mm, presenta un período de precipitaciones máximas entre 1885 y 1895, y a partir de 1935 también se observan varios años con altas precipitaciones cada cinco años aproximadamente, como en Badajoz.

En Toledo no existen datos de precipitación anteriores al siglo XX. En esta estación, se dan precipitaciones mínimas de 188 mm, máximas de 577 mm. y medias de hasta 368 mm, con picos especialmente altos en los años 1936,1947,1955 y 1978, aproximadamente cada diez años.



**Gráfico 4.5** - Precipitación anual en las estaciones atlánticas Badajoz y Ciudad Real



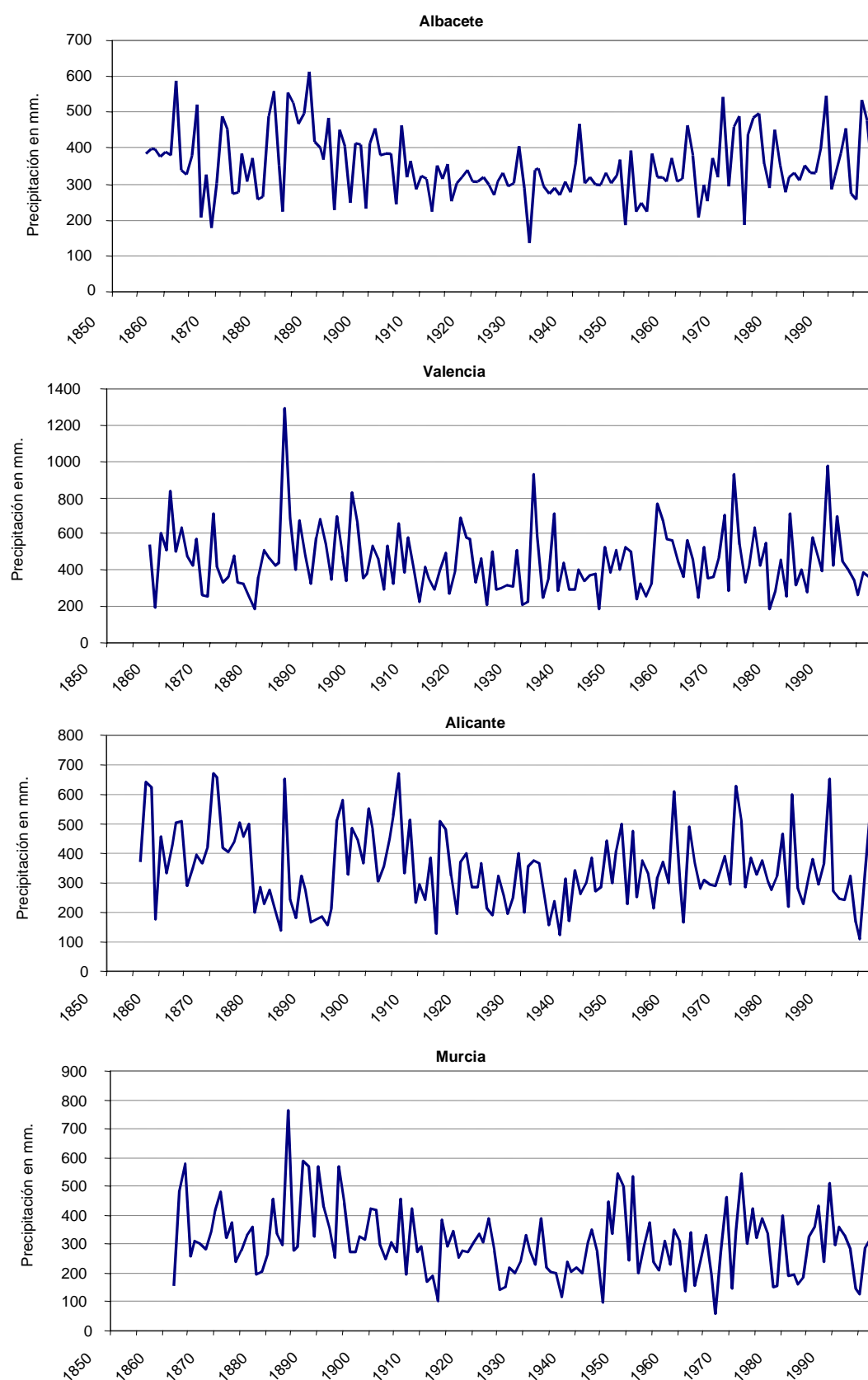
**Gráfico 4.6 - Precipitación anual en las estaciones atlánticas Madrid y Toledo**

#### 4.3.1.2. Las estaciones mediterráneas

En general, las precipitaciones mediterráneas son más homogéneas, no tienen una variación temporal tan marcada como las atlánticas (*Gráfico 4.7*). En estas estaciones, las precipitaciones varían entre valores mínimos de 59 mm y máximos de 1288 mm, con medias anuales de 452 mm en Valencia, 352 mm en Albacete, 349 mm en Alicante y 307 mm en Murcia.

En Albacete se observan precipitaciones mínimas de 138 mm y máximas de 612 mm. y medias de 352 mm. Albacete se ha incluido dentro de las estaciones de la vertiente mediterránea por su posición hidrográfica, aunque su comportamiento difiere de éstas en algunos aspectos como iremos viendo. Se distinguen en esta estación cuatro períodos de máximas precipitaciones, en 1885, 1948-51, 1970-73 y 1987-88, pero no aparecen tan marcados los períodos máximos de finales del siglo XIX y principios del XX que se aprecian en el resto de estaciones atlánticas.

En cuanto al resto de estaciones mediterráneas, Valencia, Alicante y Murcia, presentan un pico de máxima precipitación en 1885 y varios años con altas precipitaciones a partir de 1920, en intervalos de 10-15 años. Estos intervalos se aprecian sobre todo en Valencia, esta estación destaca además por ser la que presenta precipitaciones más altas de todas las estaciones estudiadas.



**Gráfico 4.7** – Precipitación anual en las estaciones mediterráneas

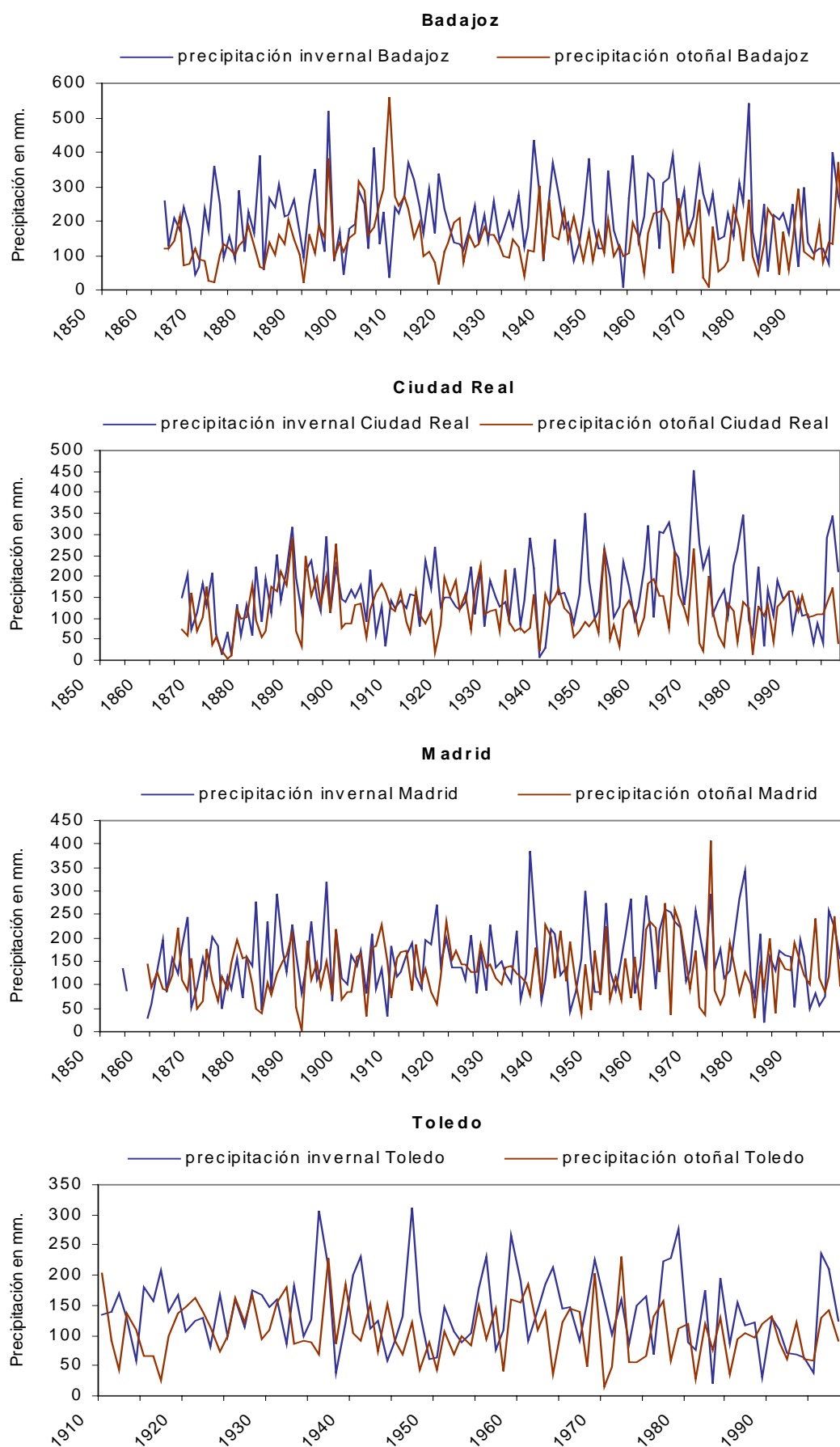
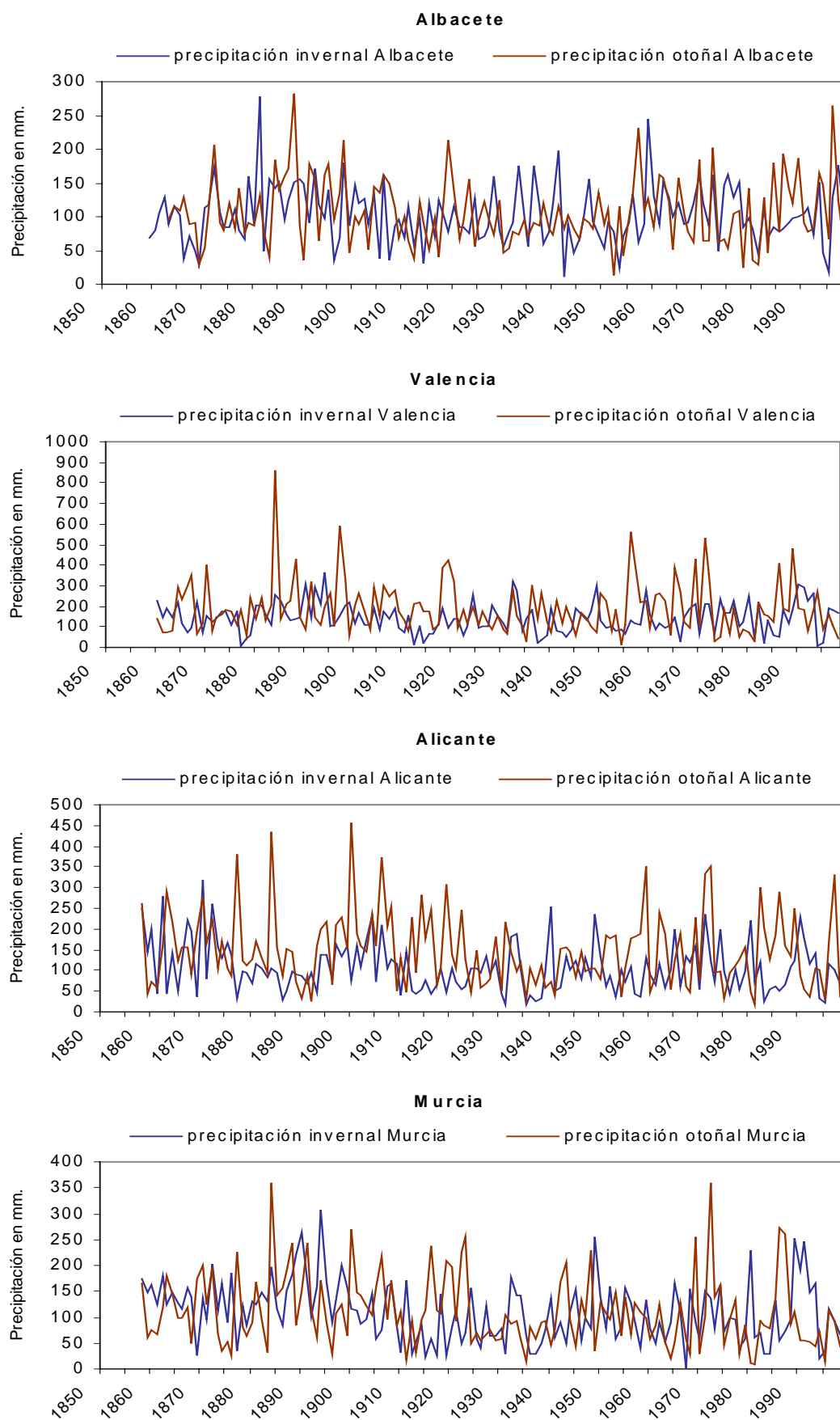


Gráfico 4.8 - Precipitaciones invernales y otoñales en las estaciones atlánticas

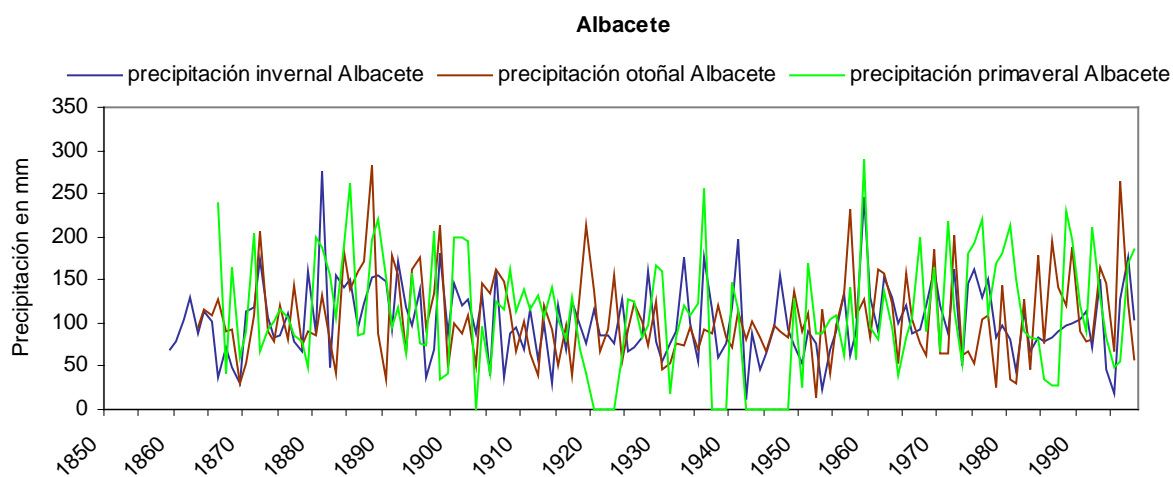




**Gráfico 4.9** - Precipitaciones invernales y otoñales en las estaciones mediterráneas

Se ha analizado además la distribución estacional de las precipitaciones en ambas vertientes (*Gráfico 4.8* y *Gráfico 4.9*) observándose claramente que en las provincias de la vertiente atlántica, Madrid, Toledo, Ciudad Real y Badajoz, las precipitaciones invernales son más altas que las otoñales, en cambio, en las estaciones mediterráneas, Valencia y Alicante, las precipitaciones otoñales son mayores que las invernales.

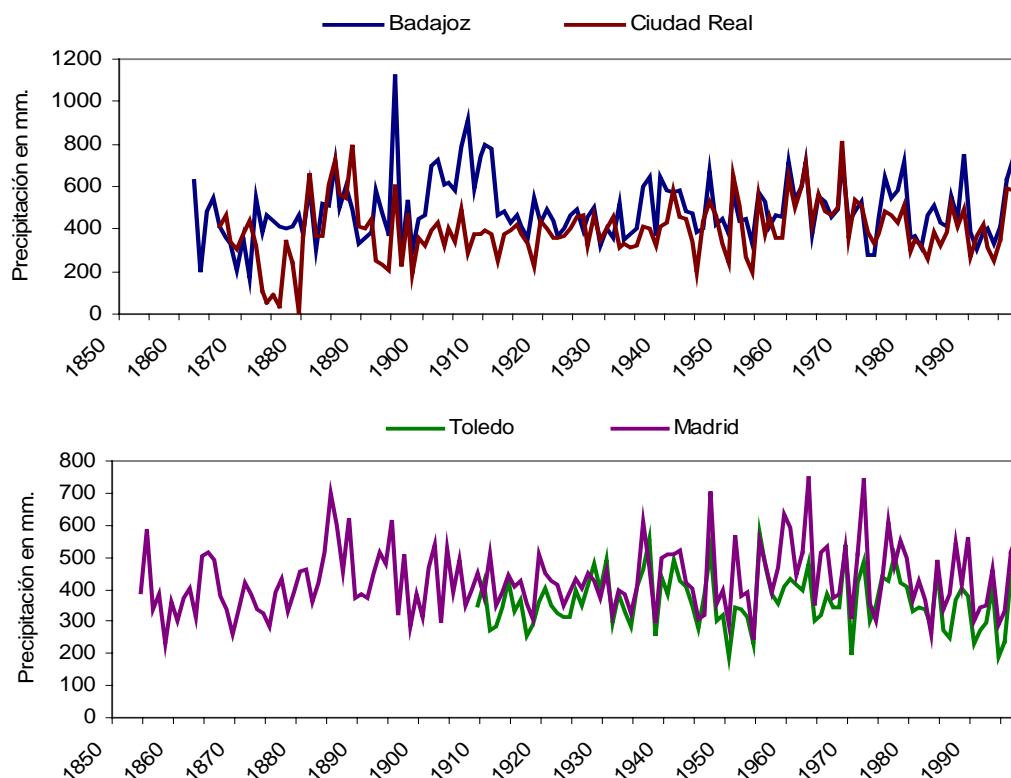
También en Albacete son más importantes las precipitaciones otoñales, aunque en muchos años las precipitaciones de primavera son muy altas, e incluso llegan a superar a las otoñales, sobre todo en los últimos años, a partir de 1960 (*Gráfico 4.10*), esto no se observa en ninguna de las demás estaciones, salvo años puntuales. En Murcia, sin embargo, no se observa tanto predominio de las precipitaciones otoñales sobre las invernales.



**Gráfico 4.10** - Precipitaciones invernales, otoñales y primaverales en la estación de Albacete

#### 4.3.1.3. Comparación de las precipitaciones entre las dos vertientes

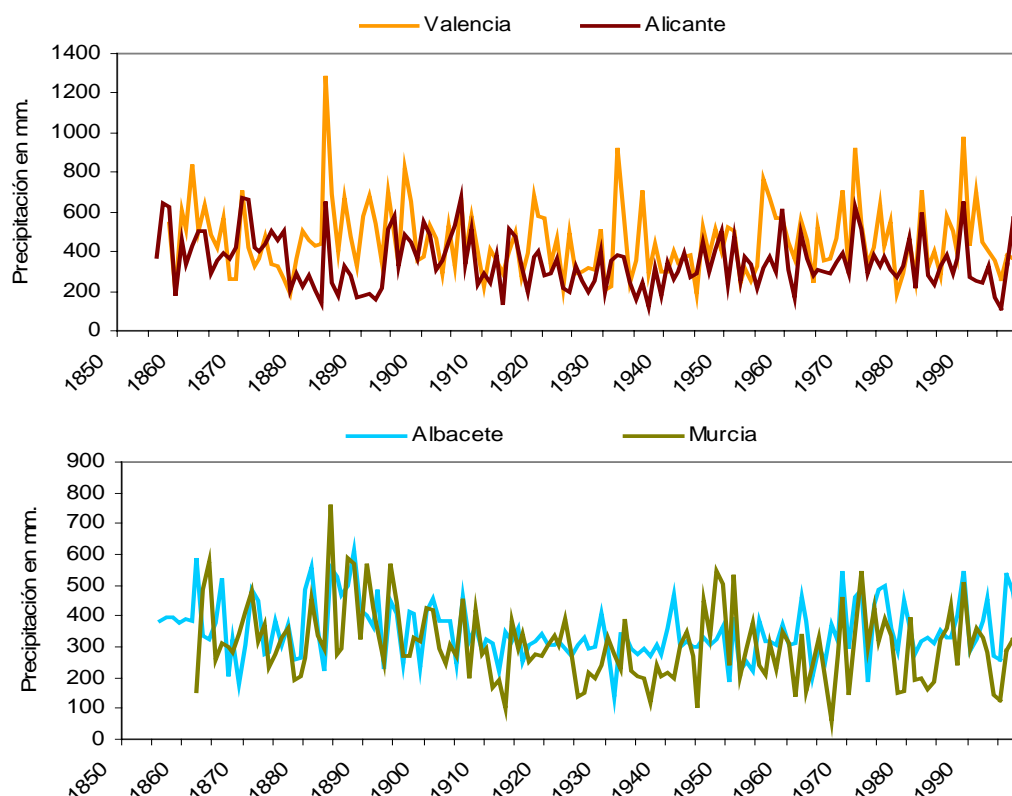
Si se comparan gráficamente los períodos de máximas precipitaciones, en la vertiente atlántica (*Gráfico 4.11*) todas las estaciones tienen similitud a partir del año 1920, pero antes de esta fecha la estación de Badajoz presenta diferencias con el resto, así Badajoz tiene un período de lluvias muy altas a principios del siglo XX pero el resto de estaciones atlánticas presentan este período unos años antes, a finales del XIX. Las precipitaciones de Madrid están muy relacionadas con las de Ciudad Real y Toledo.



**Gráfico 4.11** – Comparación de precipitaciones anuales en las estaciones atlánticas

Las precipitaciones mediterráneas, a su vez, se relacionan entre sí, sobre todo Valencia y Alicante (*Gráfico 4.12*). Murcia presenta similitud con Alicante, Albacete y Valencia, en cambio, en los periodos entre 1880-1900 y 1945-1955 tiene relación con precipitaciones atlánticas, como las de Ciudad Real. Valencia presenta muy marcado el pico de máxima precipitación de 1885, al igual que la mayoría de estaciones atlánticas, que presentan un período máximo de precipitación entre los años 1882 y 1890. Este período no aparece en el resto de estaciones mediterráneas.

Se observa así mismo que las precipitaciones de Albacete presentan una cierta relación con las precipitaciones atlánticas de Madrid, Ciudad Real y Toledo.

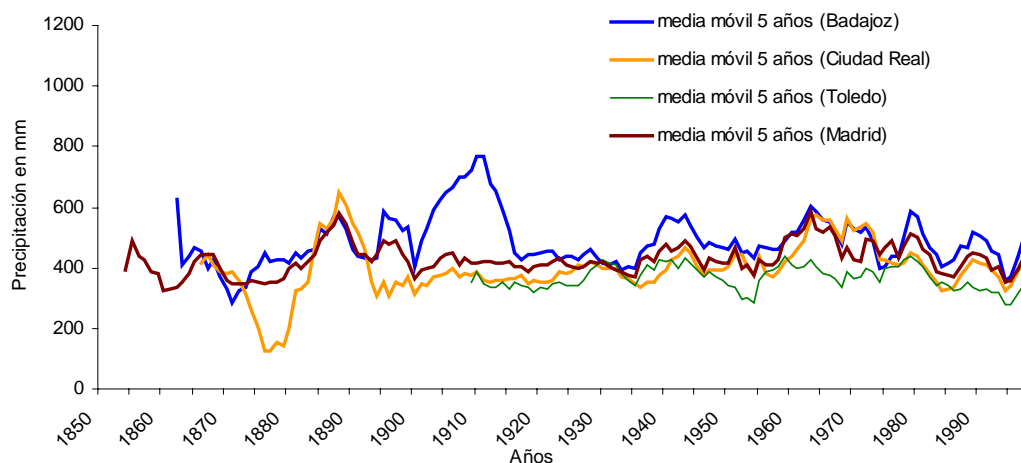


**Gráfico 4.12** – Comparación de precipitaciones anuales en las estaciones mediterráneas

#### 4.3.2. ANÁLISIS DE LAS SERIES SUAVIZADAS DE PRECIPITACIONES

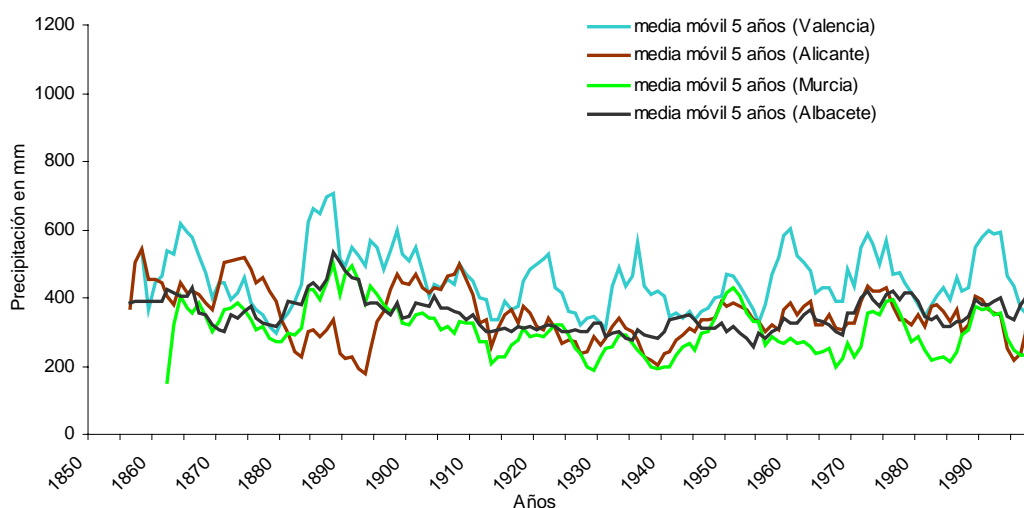
Al igual que las inundaciones, las series históricas de precipitación son series temporales y, por tanto, pueden contener tendencias y ciclos. Para estudiar estas posibles tendencias y ciclos se ha aplicado un suavizado por media móvil a estas precipitaciones. En este caso, y teniendo en cuenta el tamaño de la serie de datos, se ha seleccionado para el suavizado un tamaño de ventana de media móvil de 5 años. Después de aplicar este suavizado no se ha podido definir una tendencia general ascendente o descendente de las series, sino más bien una sucesión de períodos de años con máxima precipitación anual en las distintas cuencas.

En las estaciones de las cuencas atlánticas se observa un comportamiento similar, aunque existen algunas diferencias si se estudian con más detalle (*Gráfico 4.13*). Destaca claramente un período de altas precipitaciones en todas las estaciones a finales del siglo XIX, que en la estación de Badajoz se prolonga hasta principios del siglo XX. Entre ellas sobresale una etapa de bajas precipitaciones en Ciudad Real entorno al año 1880. A partir de 1930 se observan picos de alta precipitación a intervalos de aproximadamente 10 años en todas estas estaciones atlánticas.



**Gráfico 4.13** – Medias móviles de 5 años de las series históricas de precipitación anual en las estaciones atlánticas

Por otra parte, en las estaciones de las cuencas mediterráneas, los picos de máxima precipitación aparecen muy marcados, sobre todo en las estaciones de Valencia y Murcia. Estos picos se suceden a partir de 1920, cada 10 años aproximadamente, aunque disminuyen en los años 1930 y 1960 (*Gráfico 4.14*). Aunque se observa cierta recurrencia cíclica de períodos de máxima precipitación tanto en las estaciones atlánticas como en las mediterráneas, es en estas últimas donde los períodos de humedad y sequía están mucho mejor definidos.



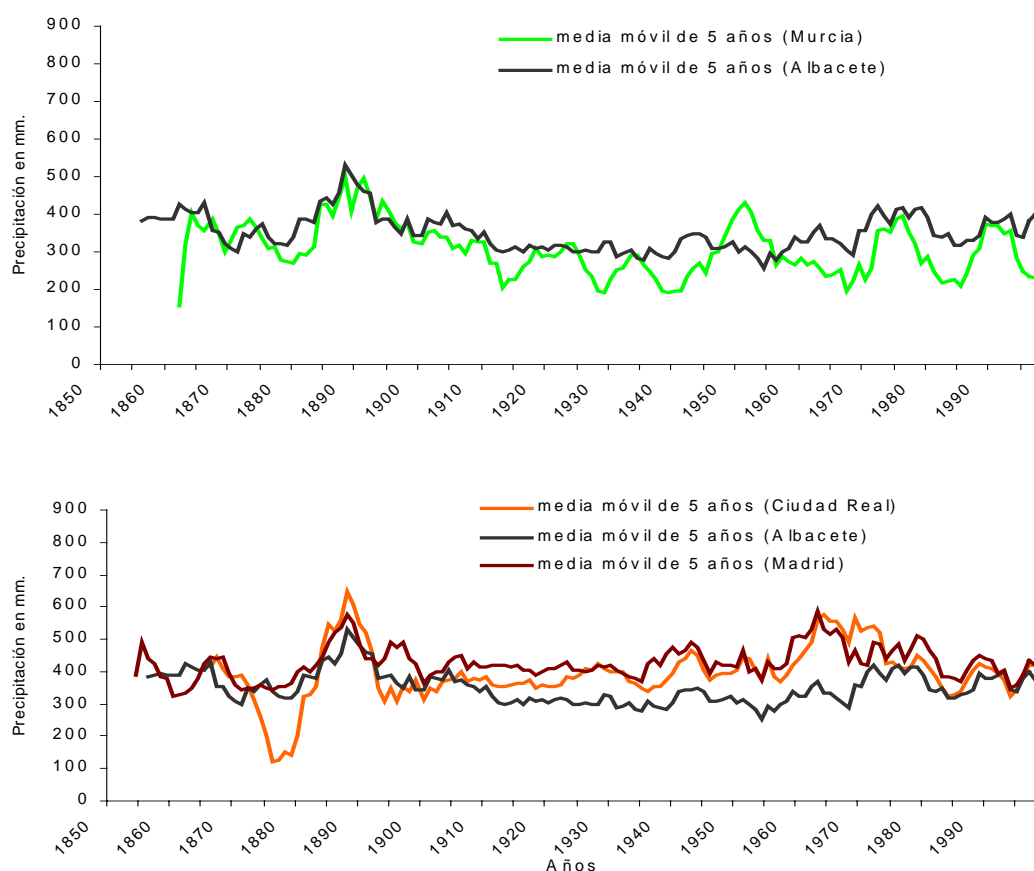
**Gráfico 4.14** - Medias móviles de 5 años de las series históricas de precipitación anual en las estaciones mediterráneas

Como en la vertiente atlántica, en las estaciones mediterráneas también se observa el período de altas precipitaciones de finales del siglo XIX, aunque no destaca tanto del resto de picos de precipitación, que en esta vertiente son más regulares. Pero aunque entre las precipitaciones mediterráneas se observa una similitud en cuanto a sus variaciones temporales, no ocurre lo mismo con su magnitud, destacando por encima del resto el volumen de precipitaciones de Valencia.

En conclusión puede decirse que las series de precipitación presentan una cierta ritmicidad de picos húmedos y secos bastante bien correlacionados en las diferentes estaciones estudiadas de ambas vertientes. Estos períodos presentan una ritmicidad más homogénea en la vertiente mediterránea que en la atlántica. Lo que sí se observa en ambos casos es una anomalía en la primera parte de las series. En la vertiente mediterránea se observa un período de disminución relativa de la precipitación entre 1865 y 1885, seguido de un período de lluvias más largo hasta 1910. Este período de menos lluvias también se refleja en la vertiente atlántica en el período comprendido entre 1870 y 1880, seguido de un incremento de la precipitación que llegaría hasta 1900, a partir del cual se da un período de poca precipitación relativa. La principal anomalía de esta vertiente la constituye la estación de Badajoz que tiene un nuevo pico de altas precipitaciones todavía en 1910.

Estas observaciones guardan coherencia con lo señalado anteriormente en el apartado de inundaciones, que indicarían períodos más secos a mediados del siglo XIX pero un aumento de precipitaciones hacia el cambio de siglo.

Merece destacar el comportamiento singular de las precipitaciones de Albacete (*Gráfico 4.15*), que teniendo más semejanza con las precipitaciones atlánticas en el siglo XIX, presenta en la mayor parte de la serie más similitud con las precipitaciones mediterráneas, especialmente con las de Murcia. Por su posición geográfica es lógico que la estación de Albacete tenga influencia no solo del clima mediterráneo sino también de las perturbaciones atlánticas, pues comparte características con ambas vertientes.



**Gráfico 4.15**– Comparación de las medias móviles de precipitación de Albacete con algunas estaciones atlánticas y mediterráneas

#### 4.4. COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES

Para este análisis comparativo, en primer lugar se han estudiado las posibles relaciones existentes entre las series históricas, sin tratar, de precipitaciones e inundaciones, pero considerando ya una primera diferenciación de precipitaciones estacionales y de inundaciones según su distribución espacio-temporal en las distintas cuencas. A continuación se han comparado las series temporales tratadas mediante medias móviles.

#### 4.4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INUNDACIONES Y SU RELACIÓN CON LA ESTACIONALIDAD DE PRECIPITACIONES

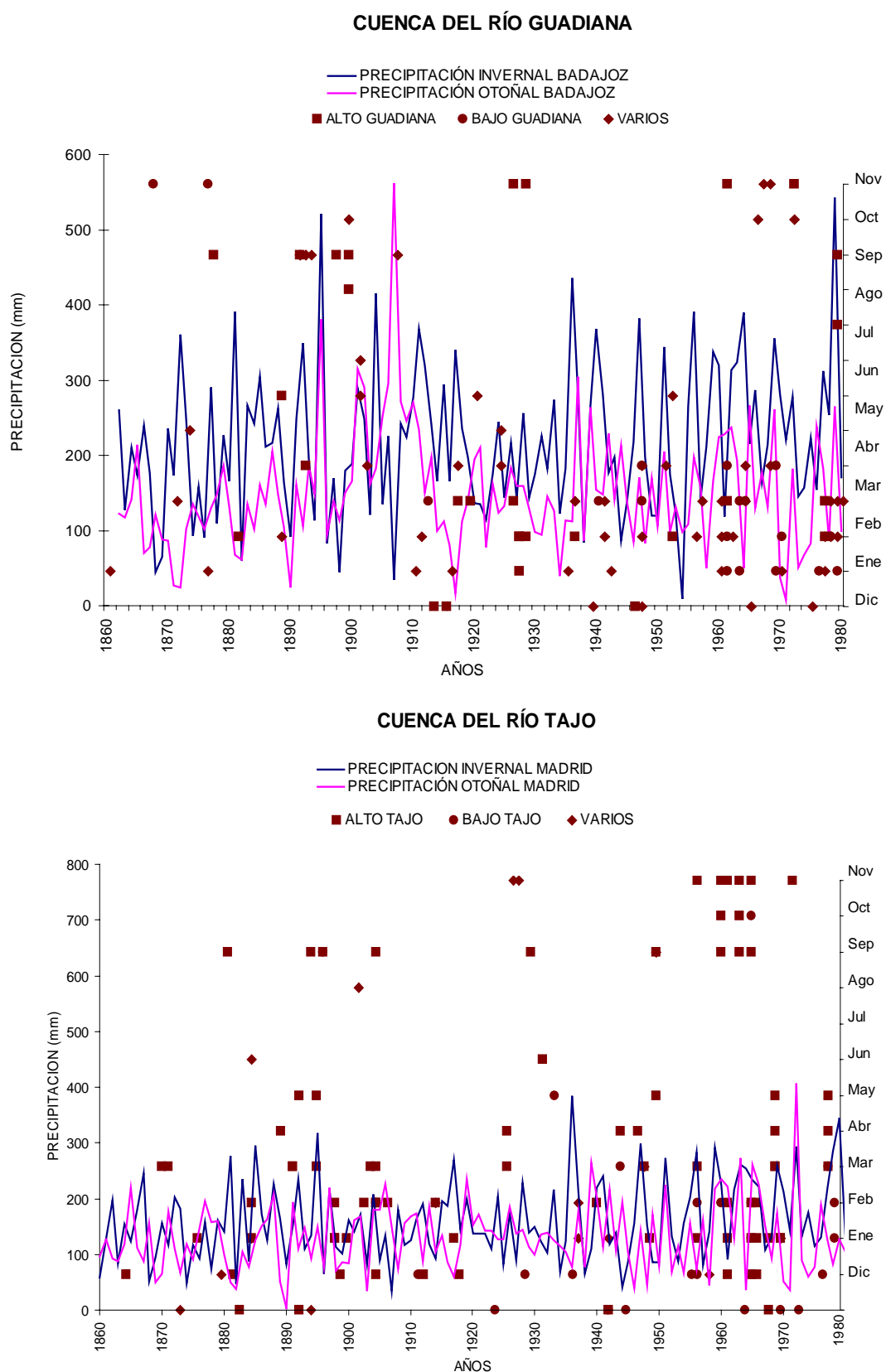
Hasta ahora se han tratado las precipitaciones anuales en conjunto y las inundaciones a lo largo de toda la cuenca. Pero esto puede producir una opacidad a la hora de interpretar los datos. Por ello se ha realizado una representación de los datos de las diferentes cuencas separando las referencias de inundaciones según se produzcan en la cuenca alta o baja (en el Tajo se considera la cuenca media, pues no se dispone de datos de Portugal) o en ríos afluentes o secundarios, que también conllevaría unas condiciones diferentes frente a las inundaciones. Por otro lado se ha considerado que el hecho de tener en cuenta la precipitación total anual también puede enmascarar la estacionalidad de las lluvias que provocan las avenidas, por lo que se han distribuido las precipitaciones de acuerdo con su mes de ocurrencia.

Las representaciones gráficas realizadas hasta el momento han permitido la identificación de las tendencias generales de precipitación e inundación. Pero para el establecimiento de relaciones entre ambas variables en las diferentes cuencas, se han analizado diferenciando las inundaciones según los meses del año en que se han registrado y su distribución espacial en las cuencas, y se han comparado con las precipitaciones estacionales de invierno y otoño (*Gráfico 4.16 y Gráfico 4.17*).

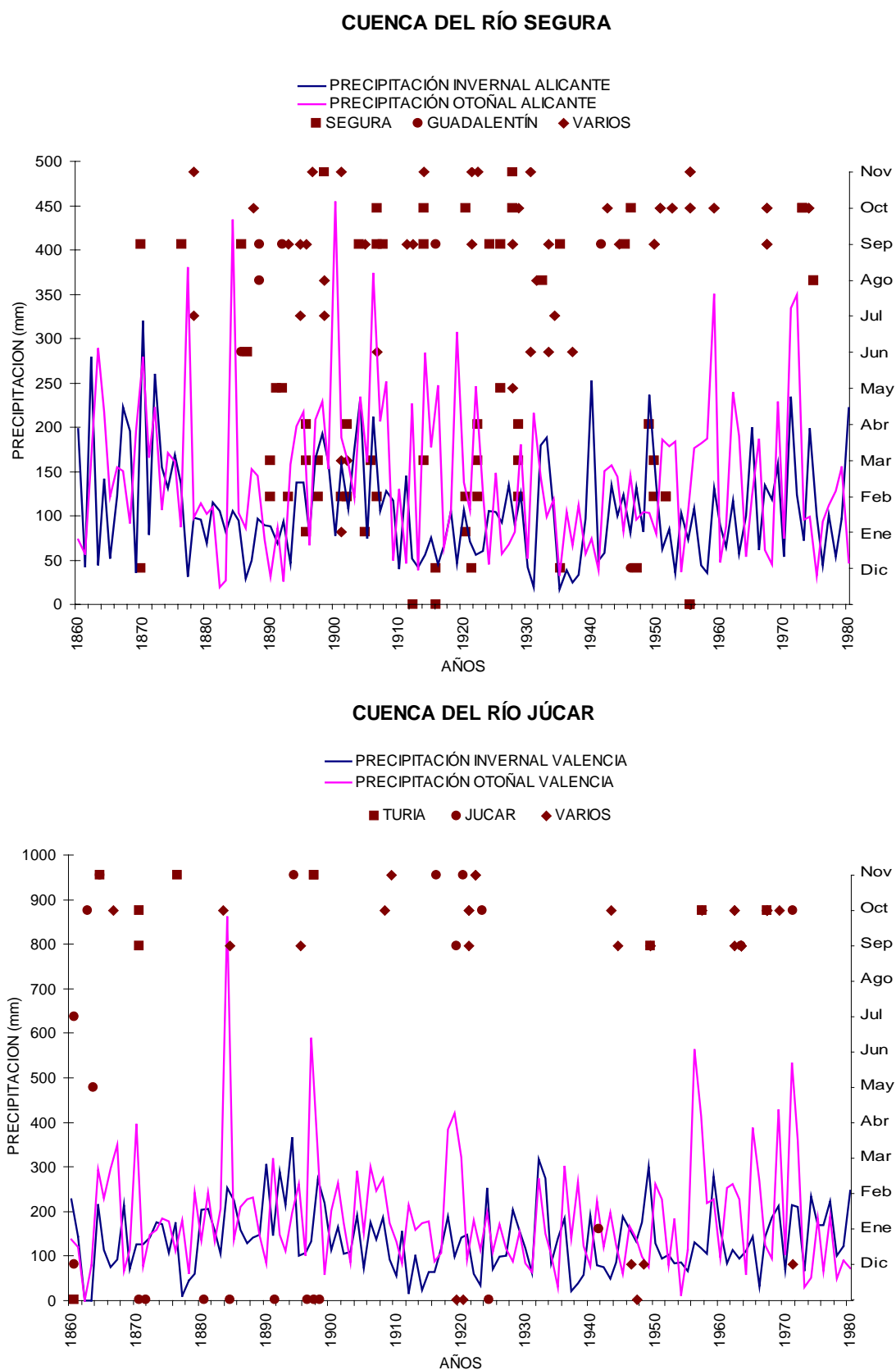
En estos gráficos se han representado en el eje vertical derecho las inundaciones agrupadas por meses, representando con distinta simbología las registradas en las distintas partes de las cuencas. Así en el Tajo y en el Guadiana se han diferenciado las inundaciones que afectan al tramo alto y bajo de la cuenca. En el gráfico del Júcar se ha considerado también la cuenca del Turia, que si bien no es afluente de este río, tiene un funcionamiento similar. Por último, en la cuenca del Segura se ha diferenciado las inundaciones registradas en los ríos principales, el Segura y el Guadalentín. Además, las inundaciones que afectan a toda una cuenca, de forma generalizada, se han representado como “varios”. Hay que tener en cuenta que no todos los eventos tienen información sobre la fecha en que se produjeron, por lo que aparecen señalados sobre el eje inferior, sin estar asociados a ningún mes concreto.

Por otra parte, las precipitaciones aparecen representadas en el eje vertical izquierdo, diferenciando las lluvias otoñales de las invernales, como ya hemos dicho. Para esta comparación entre inundaciones y lluvias estacionales se ha considerado la serie de años comprendida entre 1860 y 1980, en que hay disponibilidad de registros históricos tanto de precipitaciones como de inundaciones.





**Gráfico 4.16** – Distribución espacial de las inundaciones y su relación con las precipitaciones de invierno y otoño en las cuencas de la vertiente atlántica.



**Gráfico 4.17** - Distribución espacial de las inundaciones y su relación con las precipitaciones de invierno y otoño en las cuencas de la vertiente mediterránea.

Según este análisis gráfico se observa que en la vertiente atlántica (*Gráfico 4.16*), las inundaciones durante el siglo XX se localizan sobre todo en los tramos altos de las cuencas. Durante el último período de años analizado se observa, sin embargo, un incremento de las inundaciones invernales también en la parte baja de las cuencas (*Ortega & Garzón, 1997*), mientras que en las cuencas altas aumentan las inundaciones de otoño, especialmente en el Tajo.

En la vertiente mediterránea, las inundaciones del Júcar y el Segura no siguen una tendencia similar (*Gráfico 4.17*), así las inundaciones en el Júcar son bastante homogéneas (*Martínez & Garzón, 1996*) mientras que en la cuenca del Segura se produce un descenso importante de inundaciones desde mediados del siglo XX.

Por tanto, en cuanto a la distribución de inundaciones podemos decir que en las cuencas atlánticas la mayoría ocurren en invierno, aunque en la parte alta de estas cuencas son más frecuentes las de otoño, y se registran algunas inundaciones, aunque muy escasas, de verano y primavera. Las inundaciones mediterráneas ocurren fundamentalmente en otoño, aunque en el Segura también se registran algunas, en invierno y primavera.

En cuanto a la relación de inundaciones y precipitación, se aprecian unos períodos significativos:

Entre 1880-1900, en las cuatro cuencas dominan las inundaciones de otoño, salvo en el Segura que son también importantes las invernales. En este período son importantes las inundaciones otoñales en el alto Guadiana y las de primavera y otoño en el alto Tajo. En estos años no hay registros de inundaciones en las cuencas bajas atlánticas. En general, en este período en el Júcar y Segura dominan las precipitaciones y las inundaciones de otoño, en cambio en el Tajo y Guadiana dominan las inundaciones de otoño aunque las precipitaciones más altas se dan en invierno.

En el período 1910-1920, en las cuencas del Júcar y Segura dominan las inundaciones y precipitaciones otoñales, mientras que en las cuencas del Tajo y Guadiana son más importantes las inundaciones y precipitaciones invernales.

En los años 1960-1985, la cuenca alta del Tajo registra inundaciones de otoño e invierno y altas precipitaciones de invierno, en el bajo Guadiana las inundaciones importantes se dan en invierno y las precipitaciones dominantes son las de invierno. En las cuencas del Júcar y Segura disminuyen las inundaciones considerablemente, fundamentalmente en el Segura, aunque se registran picos importantes de precipitación otoñal.

Según este análisis comparativo se observa una relación clara entre la ocurrencia de inundaciones y las altas precipitaciones invernales en las cuencas atlánticas, en cambio en la

vertiente mediterránea son mucho más frecuentes las inundaciones de otoño, influenciadas por las altas lluvias de esa época del año. Sin embargo, se observa una anomalía a finales del siglo XIX en las cuencas atlánticas, donde aumentan las inundaciones de otoño, sobre todo en la parte alta de las cuencas, mientras que las precipitaciones dominantes son las invernales.

Recordemos que la vertiente atlántica está controlada por sistemas frontales relacionados con circulación atmosférica zonal proveniente del océano Atlántico y Centro Europa, que entran por el norte, este y suroeste de la Península y son responsables de la mayor parte de precipitaciones invernales, confirmándose con este análisis la influencia de estas precipitaciones en las cuencas de la vertiente atlántica y su relación con la generación de inundaciones en esta zona. Mientras, la vertiente mediterránea está afectada por flujos provenientes del sur, que entran principalmente por el sureste de la Península y generan episodios convectivos de mesoescala (tipo gota fría) responsables de las precipitaciones torrenciales de finales del verano y otoño (*Capel Molina, 1981; Olcina Cantos, 1994; Benito et al. 1996a*), que como acabamos de ver están muy relacionadas con la ocurrencia de inundaciones en las cuencas del Júcar y Segura.

La estacionalidad y tipo de inundación en las zonas estudiadas están determinadas, como se ha visto, por situaciones climáticas específicas de cada cuenca. Los modelos de circulación atmosférica general que hemos descrito, aún dentro de una tónica homogénea, presentan anomalías en determinados momentos, como en la segunda mitad del siglo XIX. Esta distribución refuerza la necesidad de comprender las causas y mecanismos de generación de inundaciones, más que una pura aproximación gráfica. Por ello se han realizado análisis más detallados de estas series temporales que se describen a continuación.

En conclusión pueden establecerse unas pautas claras de estacionalidad de las avenidas. Esta distribución es aún más marcada para la cuenca mediterránea y en especial en la cuenca del Júcar, dónde la mayoría de las avenidas ocurren entre Septiembre y Noviembre, tanto si se dan en el río principal, como en su paralelo el Turia o en otros afluentes, y a su vez guarda una buena relación con momentos de alta precipitación otoñal.

En el Segura, aunque también son muy significativas las avenidas otoñales, cobran gran importancia las primaverales. Cabe resaltar aquí que estas primaverales se restringen casi exclusivamente al propio río Segura, posiblemente porque su cabecera está también influenciada por las sierras y la meseta albaceteña. Existen algunos episodios veraniegos pero que afectan a arroyos secundarios, propios de eventos tormentosos. *Molina et al. (1994)* en la cuenca del Segura también determinan que aunque el grueso de avenidas son otoñales, también hay un pico entre Febrero y Abril, formado sobre todo por avenidas de magnitud baja a media, aunque no se excluye alguna de carácter extraordinario.

En la vertiente atlántica los ríos ofrecen dos poblaciones más diferenciadas, las otoñales y las invernales-primaverales. En el Tajo ambas poblaciones son significativas, quizás incluso más las invernales-primaverales, también condicionadas por la influencia del Sistema Central, y la mayoría se producen en el tramo alto de la cuenca.

Las del Guadiana se producen sobre todo en los meses invernales de Diciembre a Febrero, aunque Noviembre también puede ser significativo.

La concentración estacional de estas inundaciones guarda una evidente relación con las precipitaciones, como se intuye de los gráficos expuestos, por lo que hace falta un análisis más detallado de estas relaciones, que se plantea a continuación.

#### 4.4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS INUNDACIONES Y LAS SERIES DE PRECIPITACIONES SUAVIZADAS

En cuanto a la relación entre precipitaciones e inundaciones, se ha realizado la comparación de medias móviles de las estaciones de precipitación con las inundaciones en cada cuenca, en el período de años comprendido entre 1860 y 1985. En este caso se ha utilizado para ambas series un tamaño de ventana de 5 años, debido a la menor longitud de las mismas. A partir de la observación de estas series suavizadas, podemos interpretar las tendencias generales y al mismo tiempo realizar más fácilmente un primer análisis comparativo de las precipitaciones e inundaciones en las cuatro cuencas estudiadas

Una vez vista la importancia que tiene la estacionalidad de las lluvias con la génesis de avenidas, vamos a tratar de correlacionar las inundaciones con la precipitación dominante en cada vertiente, esto es las precipitaciones invernales en la vertiente atlántica y las precipitaciones otoñales en la mediterránea.

Además se han separado las precipitaciones invernales y otoñales para una mejor aproximación a los períodos de inundaciones, considerando como precipitaciones de invierno las registradas entre los meses de Diciembre y Marzo y como precipitaciones de otoño las registradas entre Septiembre y Noviembre. En general, con este análisis se observa ya mejor un buen paralelismo entre las inundaciones en las cuencas del Guadiana y Tajo y las etapas de precipitaciones atlánticas invernales (*Gráfico 4.18*), mientras que las inundaciones del Júcar y Segura se relacionan bien con las precipitaciones mediterráneas otoñales (*Gráfico 4.19*).

Si consideramos solo las inundaciones en la cuenca del Tajo, se observa que estas tienen una alta relación con las precipitaciones tanto anuales como invernales de las cuatro estaciones consideradas, Badajoz, Ciudad Real, Madrid y Toledo, aunque es mejor con estas dos últimas.

---

Las inundaciones en la cuenca del Guadiana tienen una variación temporal muy similar al Tajo, pero presentan más relación con las precipitaciones invernales de Ciudad Real.

En el Tajo en general se observa una concordancia muy buena entre las inundaciones en los picos de precipitación en las estaciones seleccionadas de esta vertiente, salvo el pico de lluvias entre 1879 y 1889 que no se traduce en un aumento de inundaciones.

La correlación, aunque buena, no está clara para el Guadiana y ocurre lo mismo con el trienio de lluvias 1879-89, mientras que el pico de lluvia de Badajoz de 1895 si se manifiesta en avenidas, tanto en el Guadiana como en el Tajo.

Las inundaciones en la cuenca del Júcar tienen una alta relación con las precipitaciones de otoño de Valencia y Alicante. A partir de 1960 también se relacionan con las precipitaciones de otoño de alguna estación atlántica como Ciudad Real.

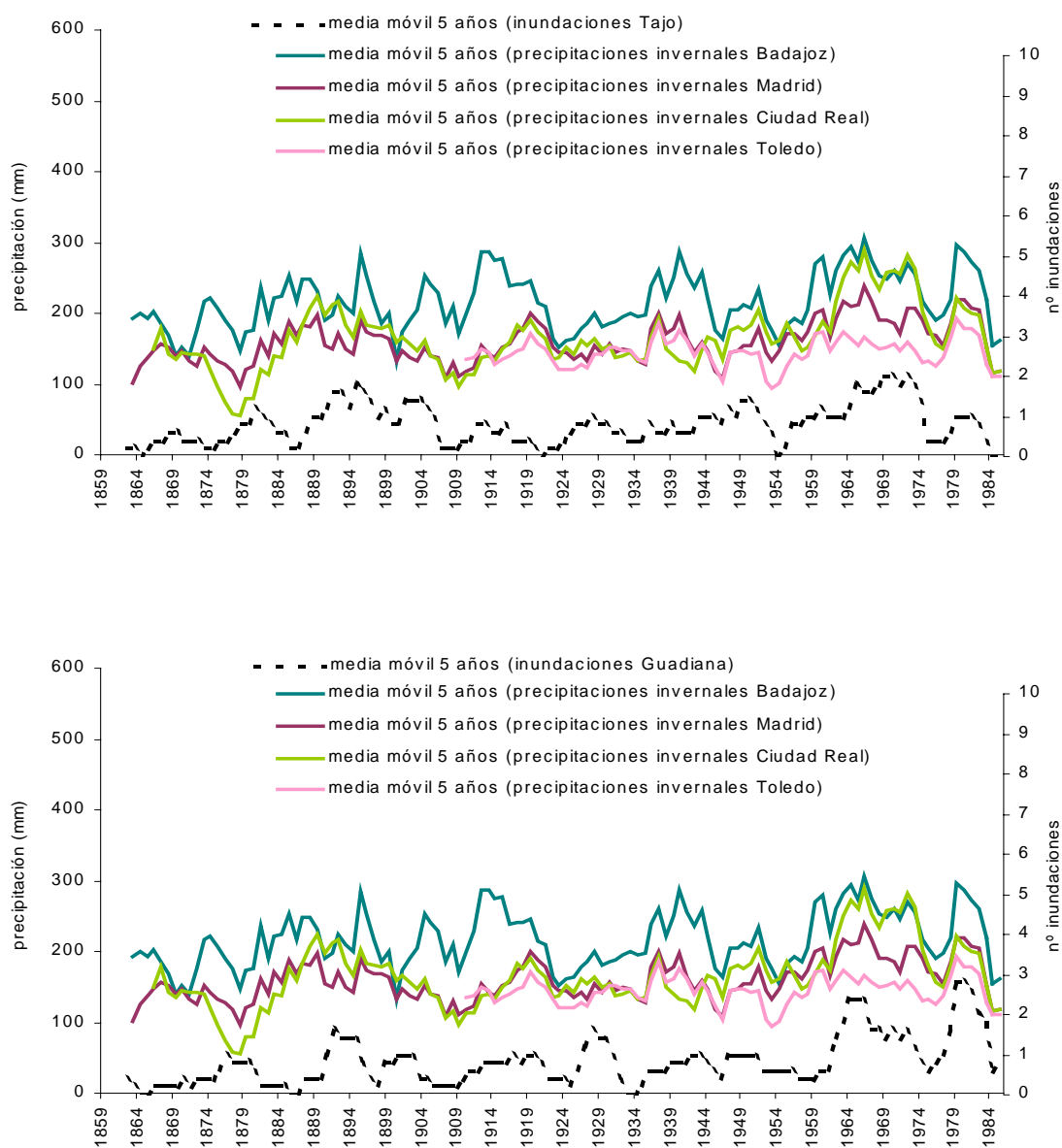
Las inundaciones en la cuenca del Segura presentan una alta relación con las precipitaciones anuales y otoñales tanto de estaciones mediterráneas (Alicante y Murcia), como de estaciones atlánticas (Ciudad Real). Entre 1870 y 1905 la relación es más alta con las precipitaciones otoñales de Valencia.

En las cuencas mediterráneas las relaciones no son tan claras, especialmente en el caso del Segura en donde quizá faltaría una estación pluviométrica que caracterice bien sus avenidas, pues incluso la más sureña, la de Murcia, no queda muy bien correlacionada con las inundaciones de esta cuenca, por el contrario, los picos de inundaciones en el Júcar sí coincide con períodos de alta precipitación otoñal en la zona, sobre todo en Valencia.

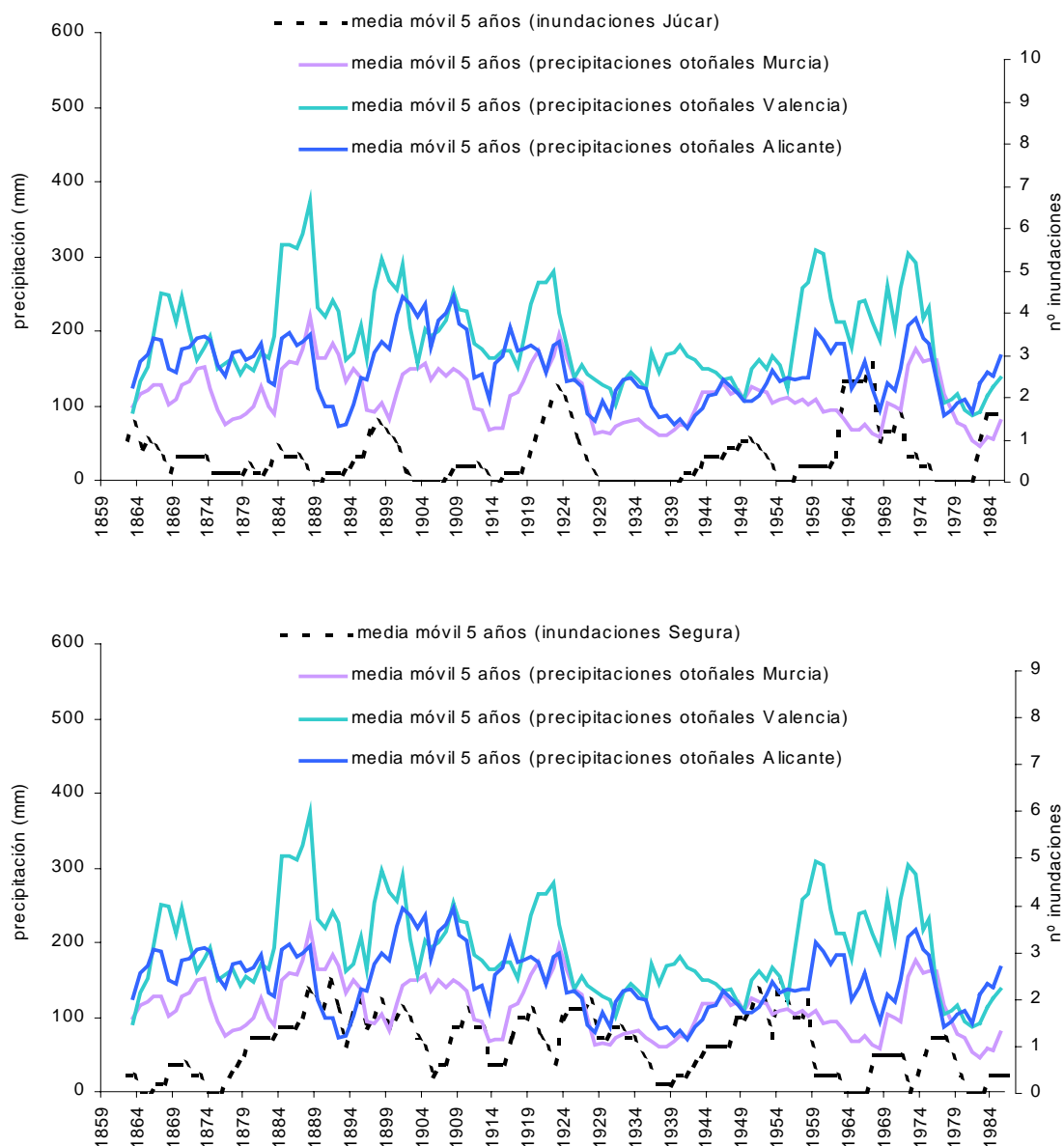
En cuanto a las precipitaciones de Albacete, ésta es una estación que comparte características con ambas vertientes, en este caso se ve una cierta relación entre las precipitaciones otoñales de Albacete y las inundaciones del Segura (*Gráfico 4.20*), y al mismo tiempo se insinúa también algo de relación entre las precipitaciones invernales en dicha estación y las inundaciones de las cuencas atlánticas, en especial con el Guadiana.

Respecto a la estación de Albacete sus relaciones no son muy claras, aunque parece insinuarse una tendencia mixta, por un lado, las precipitaciones otoñales se relacionan con las inundaciones del Segura y, por otro, las precipitaciones invernales lo hacen con las inundaciones del Guadiana.

Esto es un primer análisis que permite establecer relaciones muy interesantes, pero convendría tratar de cuantificar estas relaciones a través de un análisis estadístico.

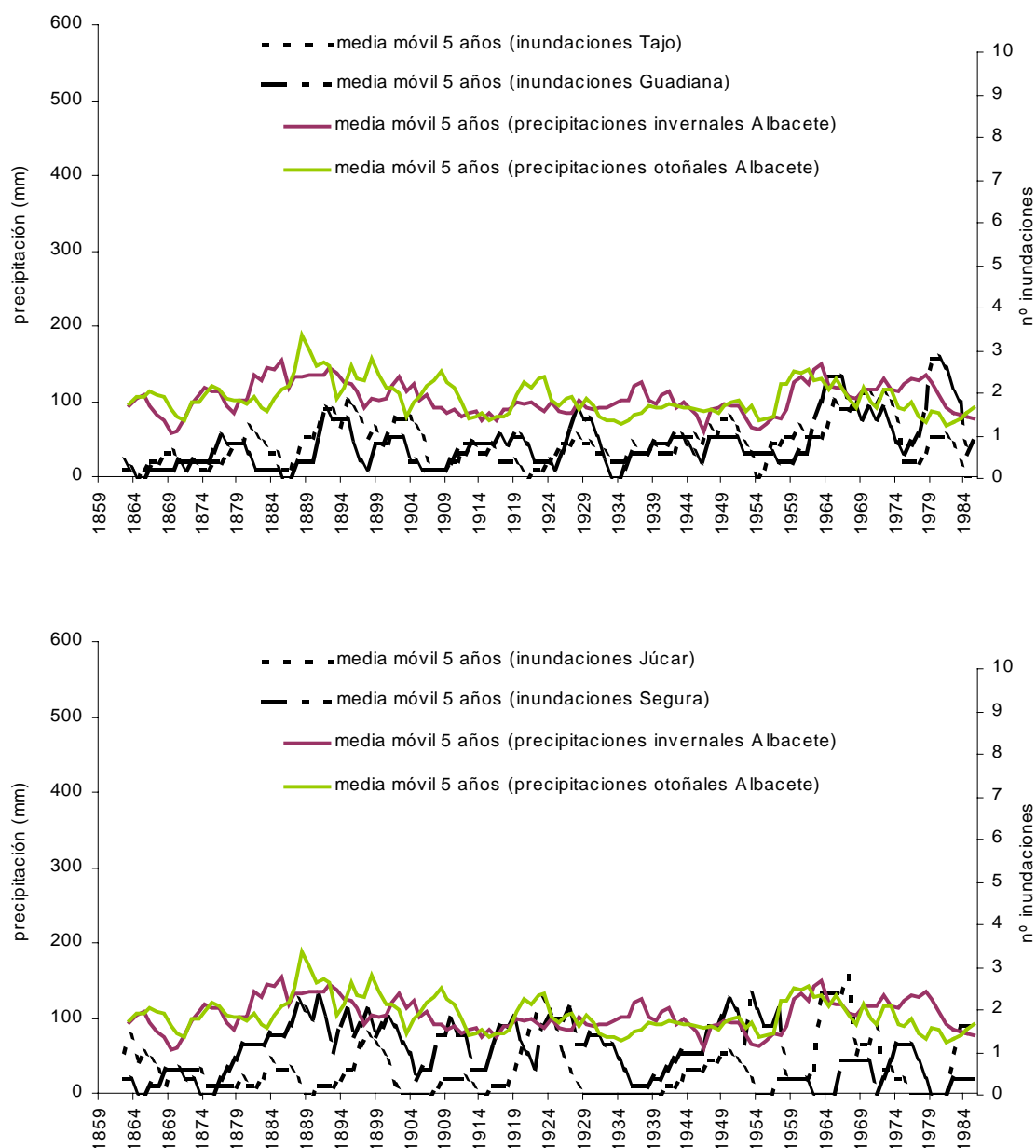


**Gráfico 4.18** - Comparación de inundaciones en las cuencas del Tajo y el Guadiana con las precipitaciones invernales de las estaciones atlánticas (medias móviles de 5 años)



**Gráfico 4.19** – Comparación de inundaciones en las cuencas del Júcar y el Segura con las precipitaciones otoñales de las estaciones mediterráneas (medias móviles de 5 años)





**Gráfico 4.20** - Comparación de inundaciones en las cuatro cuencas con las precipitaciones invernales y otoñales de la estación de Albacete (medias móviles de 5 años)

## 4.5. RELACIÓN DE LAS INUNDACIONES CON PERÍODOS SECOS Y HÚMEDOS

Hasta el momento se han relacionado las inundaciones con el volumen de precipitaciones registrado, tanto a nivel anual como estacional. Pero otro aspecto que pensamos que puede ser significativo en la producción de las avenidas, es su relación con la distribución de períodos húmedos y secos que, por un lado, controlan las condiciones hidrológicas de la cuenca, pero por otra parte también pueden indicar unas ciertas características de la precipitación ligadas a momentos climáticos específicos.

Esta relación de momentos preferentes de inundación con etapas de estiaje-humectancia, han sido señalados ya por *Ortega y Garzón (1997)* para el Guadiana.

Las series temporales analizadas anteriormente, a su vez, puede disgregarse en una serie de oscilaciones o movimientos recurrentes que se repiten cada cierto número de años, y a los que denominamos ciclos. Un tipo de ciclo en una serie de precipitación sería un período seco o húmedo (*Rodríguez Morilla, 2000*). Para el estudio de los ciclos o períodos secos y húmedos en las series de precipitación se han aplicado los métodos de desviación típica acumulada, coeficiente de variación de Pearson y el método de Foley.

Además se ha determinado la ocurrencia de inundaciones en el Tajo, Guadiana, Segura y Júcar, frente a estos períodos húmedos y secos, ya que hasta ahora se ha analizado la relación entre ocurrencia de inundaciones y momentos de máxima precipitación, pero también es importante tratar de ver su relación con períodos de escasa precipitación.

### 4.5.1. DESVIACIÓN TÍPICA ACUMULADA Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PEARSON DE PRECIPITACIONES.

La desviación típica acumulada y el coeficiente de variación de Pearson, discriminan los valores de la serie temporal con respecto a la media general de la serie, por lo que ambos permiten determinar períodos o ciclos ascendentes y descendentes, además de mostrar las tendencias general de la serie.

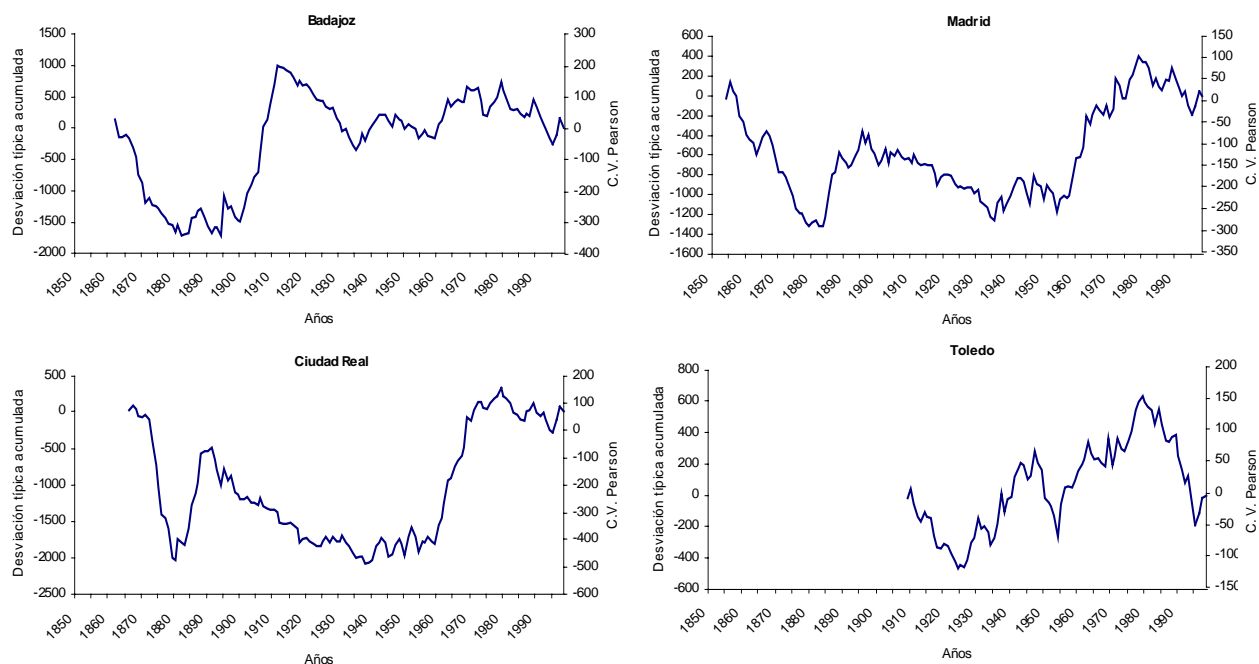
El primer método, la desviación típica acumulada, consiste en el cálculo del valor acumulado de la desviación típica para cada año ( $\delta$ ), que es la diferencia entre el valor de cada individuo de la serie ( $x_i$ ) y la media de la serie completa ( $\mu$ ), es decir  $\delta = x_i - \mu$ . El coeficiente de variación de Pearson ( $C_p$ ) se define como  $C_p = \delta / \mu$ . Si el valor  $x_i$  es muy alto respecto a la media de toda la

serie,  $\delta$  es  $>0$ , y por tanto  $C_p$  es también  $>0$ . Si por el contrario  $x_i$  es muy bajo respecto a la media,  $\delta$  es  $<0$ , siendo  $C_p$  también  $<0$ . Si este valor fuese similar a la media,  $\delta$  y  $C_p$  adquirirían el valor 0 o próximo a 0.

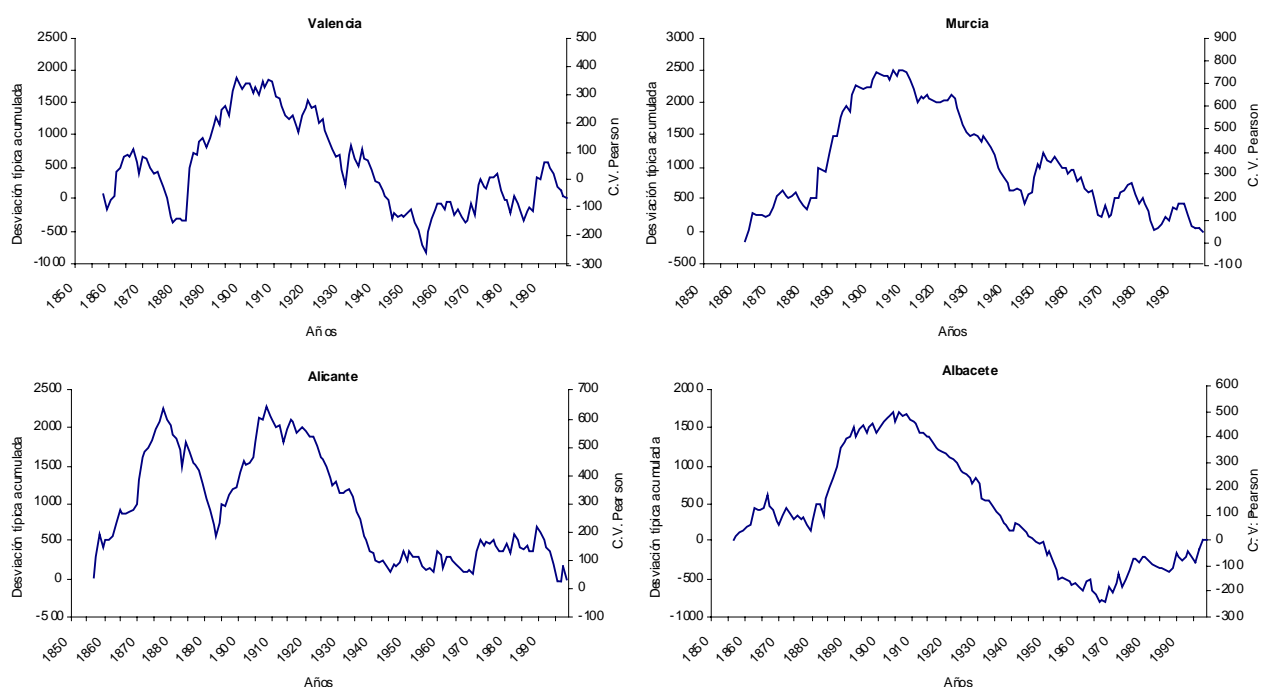
Se han aplicado estos dos métodos a las series de precipitación anual de cada una de las estaciones. La representación gráfica de los valores acumulados de la desviación típica y el coeficiente de variación de Pearson es muy similar. Se consideran períodos secos aquellos en que los valores acumulados, tanto de la desviación típica como del coeficiente de variación, presentan pendientes negativas, ya que esto representa un descenso de las precipitaciones con respecto a la media, mientras que los períodos húmedos serán aquellos en los que los valores acumulados describen pendientes positivas. El otro aspecto significativo es la pendiente de las rectas que miden la intensidad de los períodos secos y húmedos y que puede ser más interesante que la longitud de los períodos.

Como resultado de estos análisis, pueden distinguirse una serie de períodos con tendencias diferentes en las distintas estaciones. En Badajoz se observa un período seco muy abrupto hasta 1890 y a partir de esta fecha comienza un período húmedo, con máximos de precipitación a partir de 1905 y otra tendencia ascendente a partir de 1940, aunque no tan abrupta (*Gráfico 4.21*). En Ciudad Real prácticamente toda la serie presenta valores acumulados por debajo de cero, con un aumento importante de precipitaciones entre 1880 y 1900 y un aumento más evidente a partir de 1960. Madrid presenta una tendencia similar a Ciudad Real, aunque menos acusado el descenso de principios de 1900. Toledo es más difícil de contrastar pues la serie es diferente, aunque la tendencia general es análoga.

Por otra parte, dentro de la vertiente mediterránea, Murcia y Albacete presentan tendencias muy similares, con una oscilación húmeda a partir de 1880 y hasta 1910, seguido de un descenso hasta 1970, aunque en Murcia se da otro pequeño pico húmedo entorno a 1960 (*Gráfico 4.22*). Valencia y Alicante son paralelas en cuanto a tendencia, aunque con un cierto desfase en los picos. En estas estaciones se observa un primer período húmedo con máximo en 1870-80, una sequía en 1885-1895 y otro pico húmedo entre 1905 y 1910. A partir de ahí hay una tendencia generalizada de descenso de la precipitación, hasta los años 1950-60 en que ambas estaciones presentan fluctuaciones.



**Gráfico 4.21** – Desviación típica acumulada y coeficientes de variación de Pearson de las precipitaciones anuales en las estaciones atlánticas



**Gráfico 4.22** – Desviación típica acumulada y coeficientes de variación de Pearson de las precipitaciones anuales en las estaciones mediterráneas y Albacete

---

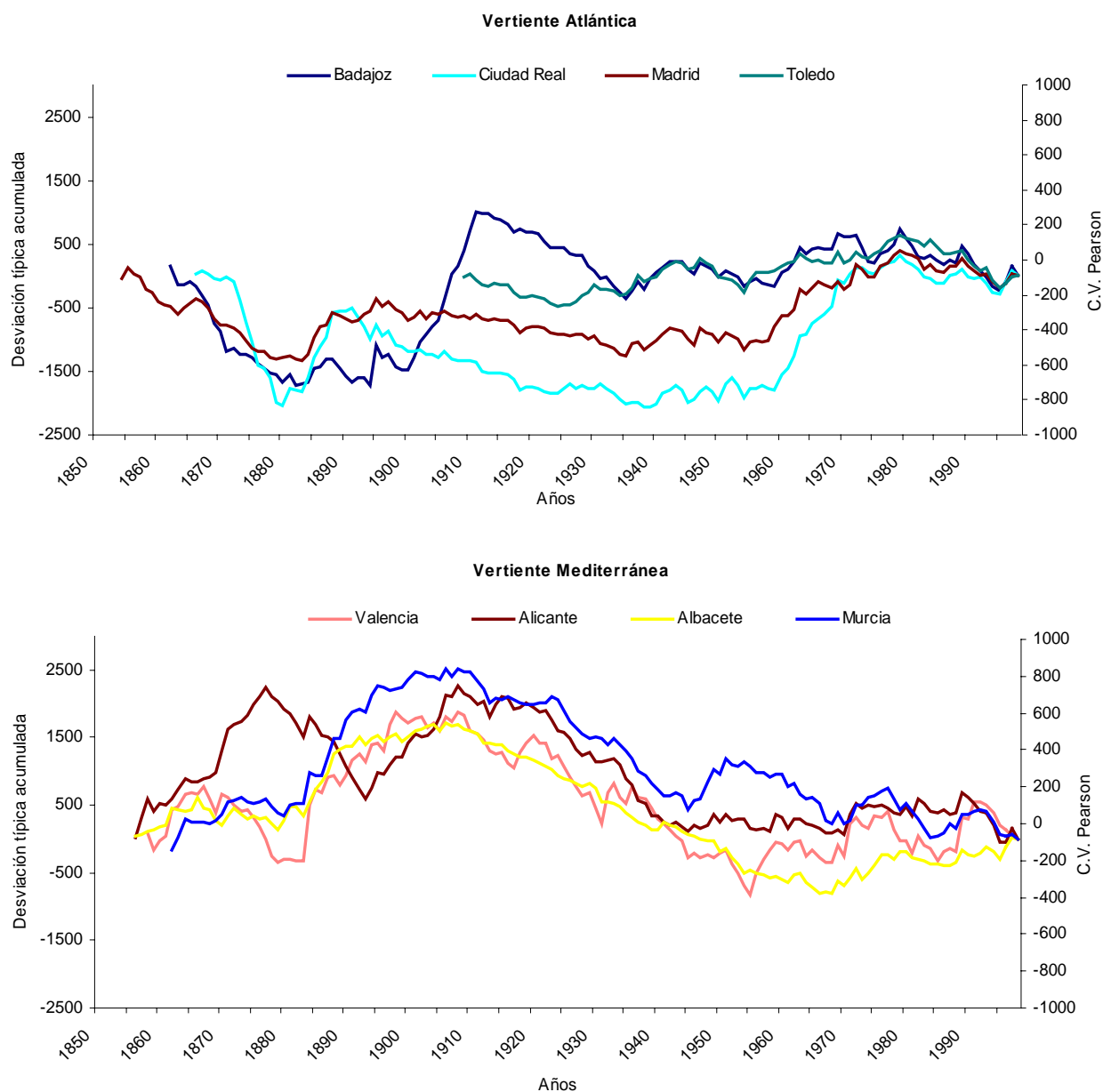
Se aprecia un descenso general de precipitaciones en todas las estaciones mediterráneas en el siglo XX respecto al XIX, en cambio, en las estaciones atlánticas se produce un aumento general de precipitaciones en el siglo XX respecto al XIX, por tanto, las precipitaciones atlánticas y mediterráneas siguen una tendencia opuesta hasta, aproximadamente, mediados del siglo XX, a partir de estos años ambas vertientes siguen tendencias similares en cuanto al registro de precipitaciones. Las estaciones que más se diferencian del resto, especialmente hasta 1910, son Badajoz y Albacete.

Comparando todas las estaciones, puede decirse que se sigue observando claramente la similitud entre las tendencias de variación de las precipitaciones atlánticas por un lado y de las mediterráneas por otro (*Gráfico 4.23*), aunque en todas las estaciones, atlánticas y mediterráneas, se observan picos de máximas precipitaciones a comienzos del siglo XX, y en Alicante, Madrid y Ciudad Real también a finales del siglo XIX.

Tanto las estaciones atlánticas como las mediterráneas muestran muy buena correlación entre sí. Las atlánticas presentan una tendencia hacia la sequía hasta 1880 y un ligero ascenso de las precipitaciones, salvo para Badajoz, hasta 1900, a partir de esta fecha se mantiene una evolución más o menos constante, aunque con una ligera tendencia descendente, que dura hasta 1960 en que comienza una etapa húmeda, hasta aproximadamente 1970. A partir de ahí todas las estaciones presentan fluctuaciones hasta la actualidad. Badajoz presenta un desfase con respecto al resto de estaciones atlánticas, con un ascenso en las precipitaciones muy fuerte hasta 1910 y a partir de ahí sigue una tendencia similar al resto.

Las estaciones mediterráneas, incluyendo Albacete, son también muy parecidas entre sí. Después de una corta etapa húmeda hasta 1870, se produce una ligera sequía y de nuevo un aumento de las precipitaciones hasta 1910, en que comienza una larga tendencia seca que se prolonga hasta 1950, estabilizándose posteriormente aunque con una serie de fluctuaciones.

Albacete, que en principio tiene una tendencia bastante similar, a partir de 1950 continúa la tendencia seca, para recuperarse a partir de 1970. Alicante también presenta un desfase en la etapa húmeda inicial, que se mantiene hasta 1880.



**Gráfico 4.23** – Comparación de ciclos secos y húmedos en las vertientes atlántica y mediterránea

Al comparar las series de precipitación acumulada de ambas vertientes, lo primero que sorprende es la aparente relación inversa entre ellas, una por debajo de la media y otra por encima. Esto no tiene mayor significado que la situación local al comienzo del análisis de las series, pues lo que se mide son las tendencias parciales, tanto ascendentes (húmedas) como descendentes (secas), y su pendiente o intensidad. Las estaciones atlánticas, Madrid, Ciudad Real y Toledo, siguen pautas muy similares al igual que ocurría en el análisis de las precipitaciones. Es significativo la exageración de los contrastes en Ciudad Real con respecto a Madrid, donde los valores extremos están más separados relativamente. Badajoz parece indicar

una situación anómala, pues aunque la serie comienza con una tendencia seca, como las otras, la tendencia ascendente se retrasa marcadamente respecto a las otras, con un pico en 1910, frente a los de 1900 en las otras estaciones.

Las tendencias también son muy similares para la vertiente mediterránea, incluyendo Albacete, y solo Alicante muestra un pico húmedo anómalo en 1880, cuando ya las otras estaciones están en un período seco, lo que implica un desfase también de su siguiente tendencia seca.

Si se comparan con las dos vertientes entre sí, los resultados no son tan distintos de lo que puede parecer a simple vista. La tendencia seca inicial de la vertiente atlántica está enmascarada por un corto período húmedo inicial en el mediterráneo, pero son muy significativos en ambas vertientes los mínimos relativos entorno a 1885, después de los cuales, se desata una marcada época húmeda generalizada. Este período húmedo sin embargo no tiene la misma duración en ambas vertientes. En el Atlántico llega hasta 1900 donde se estabiliza, comenzando una larga pero suave etapa seca hasta 1935.

En el Mediterráneo el período húmedo es más largo, aunque desde 1900 entra en una etapa de meseta con muchas oscilaciones. A partir de 1915 puede considerarse ya que se entra en una época seca hasta 1950, lo que supondría también un cierto retraso respecto a la vertiente atlántica, así como un descenso más acusado por su mayor intensidad o pendiente de la recta.

Se define a continuación un nuevo período húmedo-seco que en el frente atlántico tiene su álgido húmedo en 1945 y el seco en 1960, mientras que en el mediterráneo su cúspide sería en 1950 bajando hasta 1970.

La última etapa húmeda es muy marcada en occidente con el pico húmedo entorno a 1970 y luego una etapa de meseta con un pico seco hacia 1995. La vertiente mediterránea muestra un ciclo equivalente pero su ascenso húmedo es muy rápido, en 1970-75, y luego se mantiene en alto con oscilaciones hasta su pico seco, también en 1995.

En resumen, puede decirse que se observa un paralelismo entre presencia de períodos húmedos-secos, aunque con un cierto desfase, especialmente en las cúspides húmedas. Es muy significativo el mínimo seco de ambas vertientes en 1880, que responde al final de una etapa seca que está bien definida en el Atlántico pero menos evidente en el Mediterráneo. A partir de este año comienza una gran etapa lluviosa generalizada hasta 1900 y que se mantiene aún intensamente en el Mediterráneo hasta 1910.

Un segundo vértice seco ocurre entorno a 1940, más adelantado en el Atlántico (1935) y tardío en el Mediterráneo (1945).

---

El tercer vértice seco se produce en 1955 en el Atlántico y en 1970 en el Mediterráneo, finalmente hay otro cuarto coincidente en ambas vertientes hacia 1995.

En conjunto cabe señalar que otra diferencia clara entre ambas vertientes son las diferencias más acusadas entre los extremos secos y húmedos en la cara mediterránea respecto a la atlántica, lo que está en concordancia con la variabilidad más extrema del clima de Levante.

Con estos métodos de desviación típica acumulada y coeficientes de variación de Pearson, se ven más claras las variaciones temporales de las series y se distinguen una serie de períodos húmedos y secos como se ha visto.

#### 4.5.2. COMPARACIÓN DE INUNDACIONES Y PERÍODOS SECOS Y HÚMEDOS

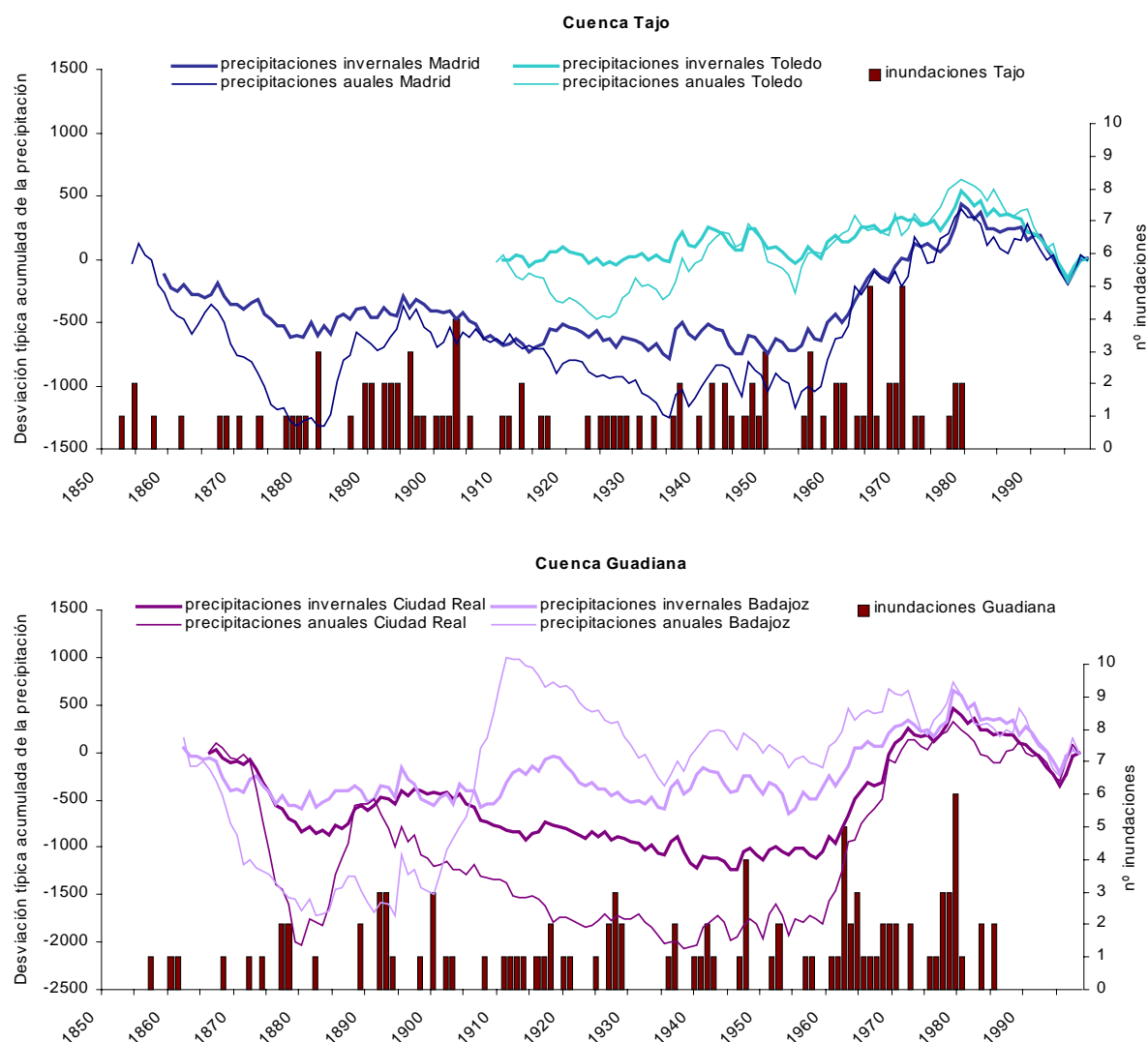
Para ver como influyen estos ciclos húmedos-secos en las inundaciones, se han comparado éstas con las desviaciones acumuladas de la precipitación. Como en el apartado de análisis de las precipitaciones e inundaciones se ha visto ya una mejor relación de éstas con las precipitaciones estacionales, en estos últimos gráficos se comparan las inundaciones con las desviaciones acumuladas tanto de las precipitaciones de invierno u otoño correspondientes, según las vertientes.

Pero a pesar de que estos métodos ofrecen resultados de más fácil lectura, aún la relación entre precipitaciones anuales e inundaciones resulta difícil de determinar gráficamente, por lo que para estudiar la ocurrencia de inundaciones en cada una de las cuatro cuencas con relación a estos períodos secos y húmedos se han separado las precipitaciones otoñales e invernales para un mejor análisis comparativo.

Estudiando esta distribución estacional de precipitaciones en relación a las inundaciones se observa que, en la cuenca del Tajo los máximos de inundaciones no coinciden exactamente con picos de máxima precipitación, si no que coinciden con precipitaciones algo más bajas posteriores a las épocas más lluviosas. Además las inundaciones del Tajo tienen más relación con las precipitaciones invernales, sobre todo de Madrid (*Gráfico 4.24*).

En la cuenca del Guadiana, especialmente en Badajoz, las inundaciones sí están relacionadas con máximos de precipitación. Se ve una clara relación entre inundaciones y precipitación invernal en Ciudad Real y Badajoz hasta la década de 1960, a partir de esta fecha las inundaciones están relacionadas tanto con las precipitaciones anuales como invernales (*Gráfico 4.24*).

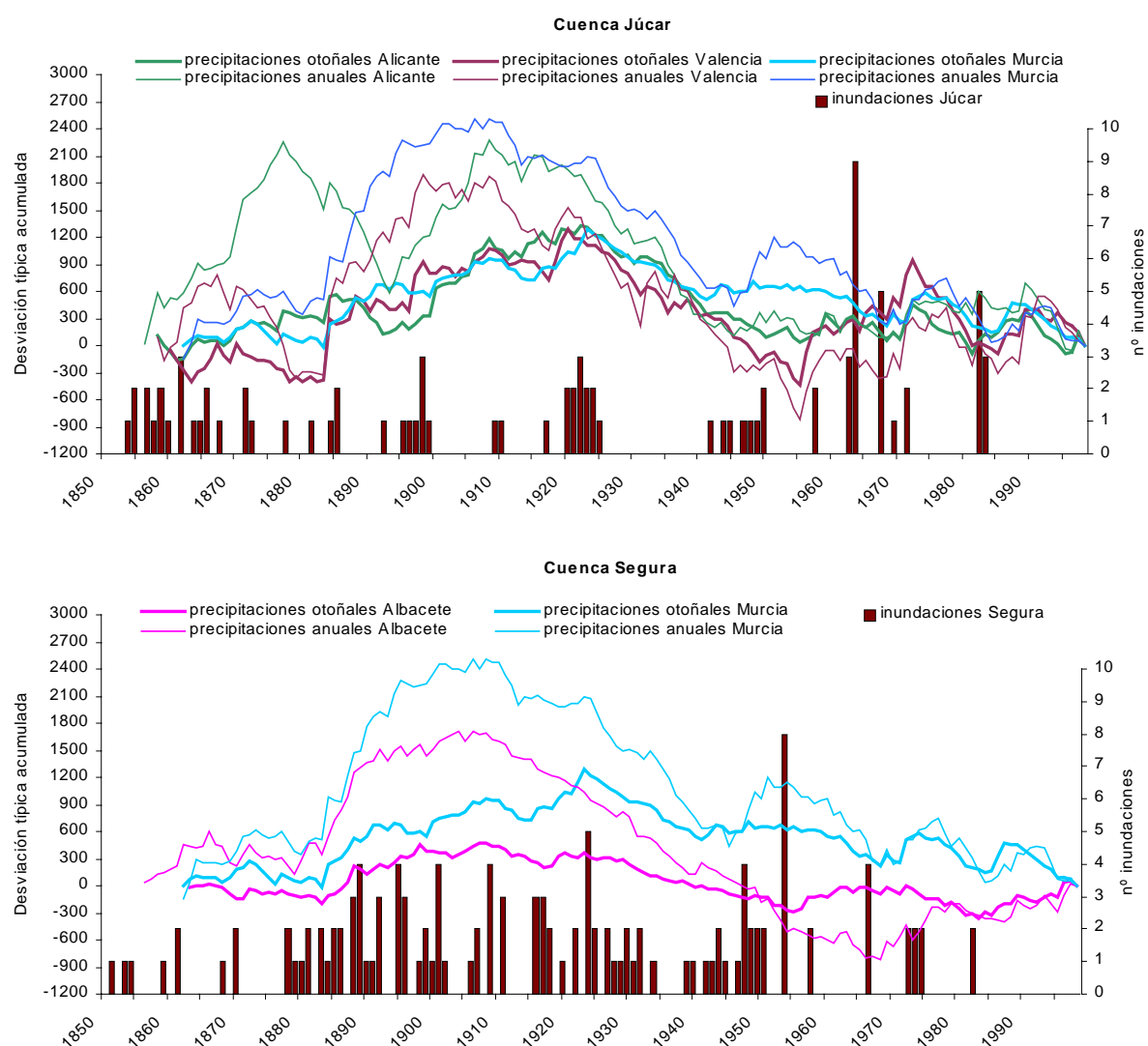




**Gráfico 4.24** – Comparación de precipitaciones anuales e invernales atlánticas con las inundaciones de las cuencas del Tajo y Guadiana

En la cuenca del Júcar las inundaciones están relacionadas, como se observa en el Tajo, con picos medios de precipitación más que con picos máximos, pero en el caso de Júcar la relación más clara se observa entre inundaciones y máximas precipitaciones otoñales de las estaciones mediterráneas, sobre todo entre 1890 y 1920. En 1960 se invierte la tendencia y las inundaciones coinciden con una etapa de bajas precipitaciones en Valencia (*Gráfico 4.25*).

En la cuenca del Segura, hay una alta relación entre las inundaciones y las precipitaciones otoñales de Alicante y Murcia. A partir de 1948, las inundaciones en el Segura están relacionadas también con las precipitaciones invernales y otoñales de Albacete (*Gráfico 4.25*).



**Gráfico 4.25**– Comparación de precipitaciones anuales y otoñales mediterráneas con las inundaciones de las cuencas del Júcar y Segura.

Lo primero que sorprende de estos gráficos es que, contra lo que cabría esperar, las inundaciones no se corresponden con los picos húmedos sino que se observa, por ejemplo en el caso del Tajo, que el mayor número de inundaciones se produce en relación con las etapas de sequía, y más bien en el cambio de la etapa seca hacia la húmeda o ya marcando el comienzo de la etapa húmeda. Este hecho se observa también claramente en la cuenca del Guadiana.

Si se observa la vertiente mediterránea, este hecho es aún más evidente para la cuenca del Júcar, donde el aumento de inundaciones se da en los vértices de las sequías, en el tránsito hacia el comienzo de la época húmeda, incluso al final de una etapa seca, posiblemente ya en relación con los primeros momentos de precipitación.

Esta relación, sin embargo, no está tan clara en la cuenca del Segura, aunque también hay algunos buenos ejemplos al final de la serie en inundaciones aisladas que coinciden con tránsitos de seco a húmedo. En el resto de la serie las inundaciones no marcan agrupamientos claros. Por otra parte, como se comentó previamente, las inundaciones del Segura son, dentro de las cuatro cuencas estudiadas, las que presentan peor correlación con las precipitaciones, posiblemente porque ninguna de las estaciones pluviométricas que se le asocian describe de forma integral las características de la cuenca.

Esta relación de las inundaciones con el comienzo de épocas húmedas, después de largos períodos de sequía, abre la interrogante de las causas de este proceso. Por una parte podría achacarse a las condiciones de la cuenca tras una larga etapa de sequía, condiciones de mayor aridez, con suelos propensos al sellado y mayor posibilidad de arrastre de materiales que agrave la dinámica torrencial en los cursos de agua, aumentando los caudales con mayor rapidez.

Por otra parte, podría pensarse si hay factores climáticos que inducen también un tipo de precipitación más intensa al final de las etapas de sequía, en relación con el cambio hacia una nueva situación atmosférica, hacia etapas más húmedas. En relación con esto, cabe señalar además que los cambios hacia condiciones más húmedas se traducen en las curvas en pendientes en general más abruptas, es decir, la pendiente de la recta que es la que mide la intensidad de estos cambios, es menos tendida que en el paso de ciclos húmedos a secos.

La aplicación de este método, discriminando estacionalmente las precipitaciones, vuelve a dejar clara la relación entre las inundaciones del Tajo y el Guadiana con las precipitaciones invernales atlánticas, y del Júcar y el Segura con las precipitaciones otoñales mediterráneas.

### 4.5.3. MÉTODO DE FOLEY

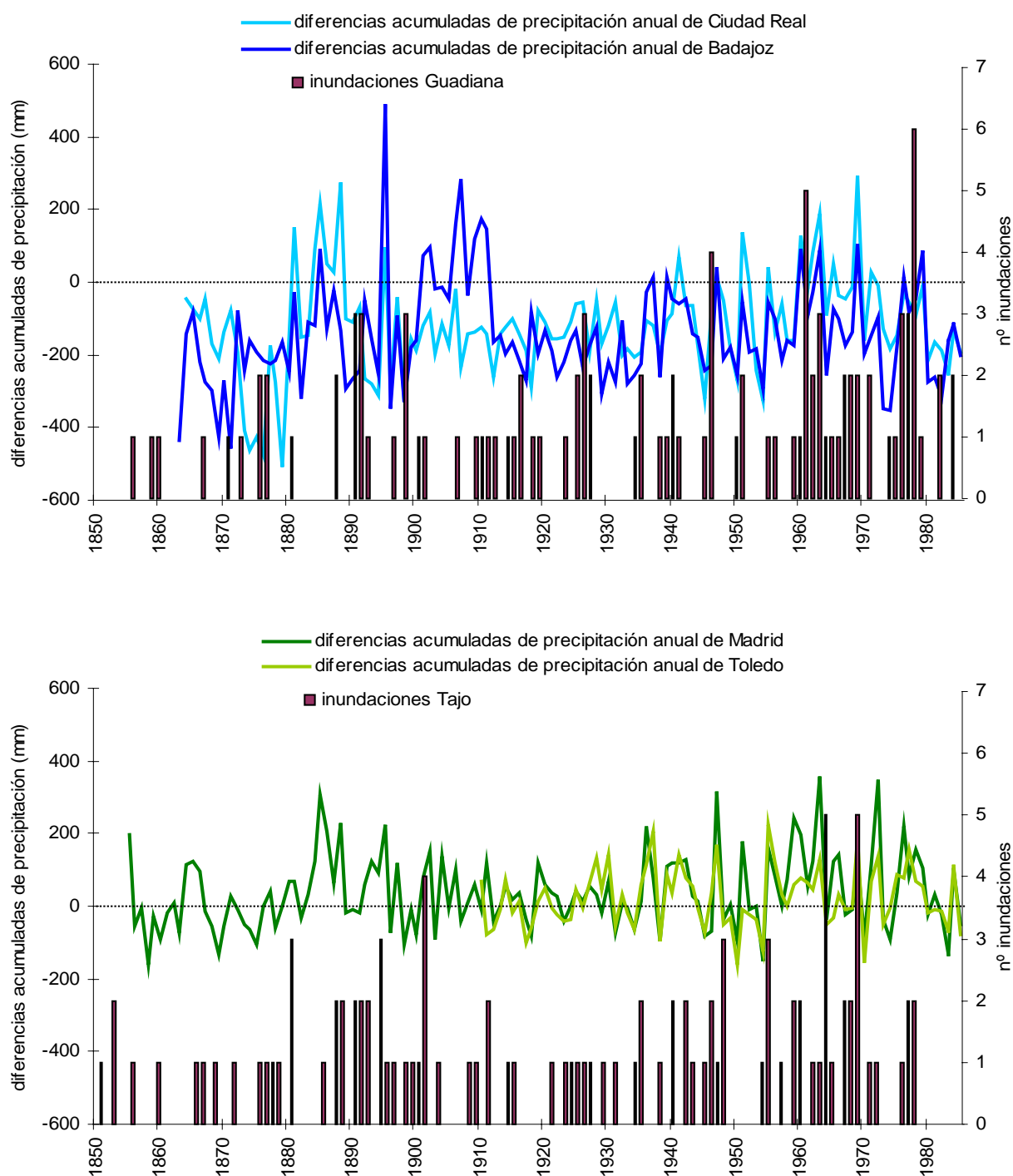
Este método permite también diferenciar períodos húmedos y secos mediante la representación de la curva de masa residual de precipitaciones. La curva de masa residual se obtiene acumulando las diferencias entre la precipitación de un año y el antecedente ( $x_n - x_{n-1}$ ) a lo largo de la serie. Estas diferencias serán negativas para los años secos y positivas para los años húmedos. La metodología aplicada en este análisis de períodos secos y húmedos se basa en los trabajos de *Flores y Campos Aranda (1998)* que utilizan este método de Foley para la detección de períodos de sequía en el estado de San Luis Potosí.

Es otro intento de analizar las alternancias de períodos húmedos-secos y su relación con la génesis de avenidas. Este método, aunque también se basa en la acumulación lo hace sobre las precipitaciones residuales, por tanto, no resalta tanto secuencias plurianuales, sino cambios bruscos entre años sucesivos. Por tanto al observar los gráficos no se aprecian tan claramente los ciclos secos-húmedos definidos previamente, sino cambios abruptos en las condiciones de humedad-sequía.

Como en los métodos anteriores, se han analizado las precipitaciones de cada una de las estaciones y se ha comprobado la relación de las mismas con la ocurrencia de inundaciones en cada una de las cuencas. Como resultado de aplicar el método de Foley se observa que las estaciones atlánticas, Badajoz, Ciudad Real, Madrid y Toledo presentan dos grandes períodos con aumentos de precipitación importantes, uno entre 1880 y 1910 y otro entre 1940 y 1980 (*Gráfico 4.26*). En la estación de Badajoz es donde más destacan estos períodos.

También se observan estos períodos húmedos en las estaciones de Albacete y Murcia (*Gráfico 4.27*). Sin embargo el resto de estaciones mediterráneas, Alicante y Valencia, son más homogéneas y los períodos húmedos se reparten más uniformemente a lo largo de la serie. En general, se aprecia una mayor generalización de períodos húmedos en las estaciones mediterráneas que en las estaciones atlánticas.

La existencia de estos dos períodos generalizados de ascenso de precipitaciones a comienzos y en la segunda mitad del siglo XX coincide con lo que se observaba al aplicar la desviación típica acumulada y el coeficiente de variación de Pearson.



**Gráfico 4.26** – Comparación de la ocurrencia de inundaciones en las cuencas atlánticas con las curvas de masa residual o diferencias acumuladas de precipitación.

En cuanto a la relación de estos ciclos secos y húmedos con las inundaciones (*Gráfico 4.26*), en la cuenca del Guadiana existe una relación entre los años con más de una inundación y los períodos de aumento de precipitaciones de Badajoz y Ciudad Real. En los años con un solo registro de inundación se observa relación tanto con períodos húmedos como con períodos secos. En la cuenca del Tajo también se da esta relación entre los años con más de una inundación y períodos húmedos en las precipitaciones de Madrid y Toledo.

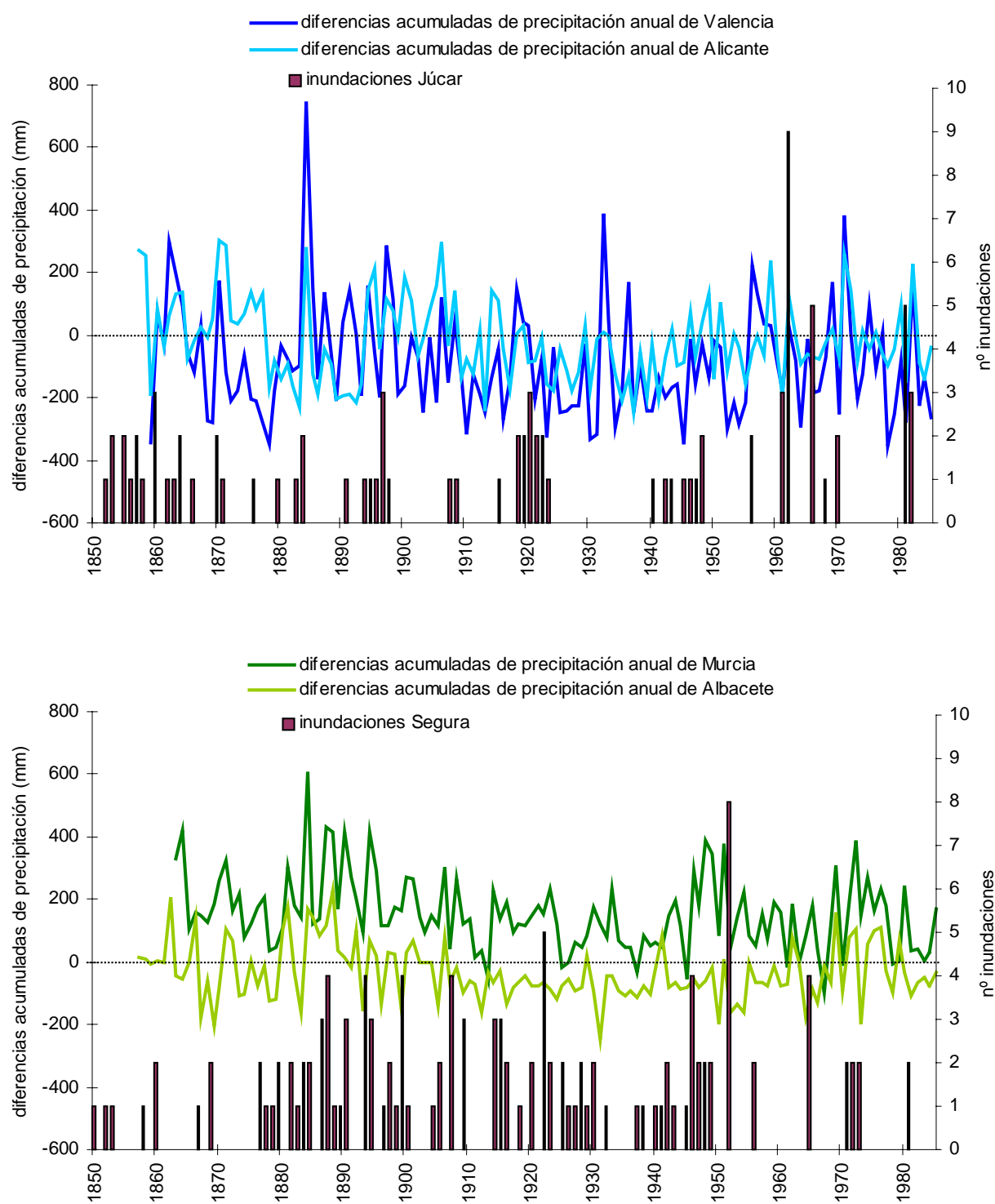
En las cuencas mediterráneas, las inundaciones coinciden tanto con períodos secos como con períodos húmedos. Las estaciones mediterráneas registran más abundancia de períodos húmedos (*Gráfico 4.27*), mientras que las atlánticas presentan un predominio de períodos secos, sobre todo Badajoz y Ciudad Real.

En Valencia, coinciden los períodos húmedos con ocurrencia de inundaciones en el Júcar, en este sentido hay tres períodos destacables: 1859-1898, 1933-1937 y 1957-1983.

La mayor parte de inundaciones en el Segura también coinciden con períodos húmedos en Murcia y Albacete. Pero algunas de las inundaciones que se registran en el Segura también coinciden con períodos secos en las precipitaciones de Alicante.

En Albacete son muy abundantes los períodos húmedos y la mayor parte de inundaciones, tanto del Segura como del Guadiana, coinciden con estos períodos (*Gráfico 4.26* y *Gráfico 4.27*).

Se puede observar, por tanto, en todas las cuencas una relación entre períodos húmedos y ocurrencia de inundaciones, aunque esta relación se aprecia sobre todo en los años en los que se registra más de una inundación. Esto es lógico, ya que muchos eventos puntuales de inundación pueden ser debidos a causas no climáticas o a episodios tormentosos aislados. Estos episodios tormentosos se pueden dar dentro de un período seco sin que se puedan distinguir, por tanto, en este tipo de análisis de series temporales. Para estudiar con detalle estas relaciones se deben utilizar, por tanto, métodos que conserven la variabilidad anual de la serie.



**Gráfico 4.27** – Comparación de la ocurrencia de inundaciones en las cuencas mediterráneas con las curvas de masa residual o diferencias acumuladas de precipitación.

Así, por ejemplo, si comparamos el *Gráfico 4.26*, correspondiente a las cuencas atlánticas, con el de los ciclos secos y húmedos del *Gráfico 4.23*, comprobamos que, si bien los tres ciclos húmedos identificados allí son diferenciables por una acumulación de picos, no se corresponden exactamente. Mientras el final de la primera época seca, por ejemplo en el vértice de 1880, presenta una vaguada suave (*Gráfico 4.23*), los picos en el *Gráfico 4.26* de precipitaciones residuales se define ya bruscamente el cambio de picos negativos hacia positivos.

En la vertiente mediterránea también se define muy bruscamente este cambio de ciclo en todas las estaciones, aunque algo más retrasado (1885) que en el Atlántico (fecha), comprobando así la pauta de desfase en ambas vertientes que se había dibujado en el apartado anterior. Este hecho viene a confirmar la conclusión expuesta en el capítulo anterior, de que el aumento de inundaciones no se produce tanto en relación con ciclos húmedos, sino en el inicio del tránsito del final del seco hacia el húmedo, en el que el comienzo de las lluvias ocurre bruscamente.

Respecto a la relación de estos picos de precipitación residual con las avenidas, en general la relación es buena, salvo para el caso del Segura.

## 4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Después de estudiadas las relaciones entre las series temporales de forma gráfica, sin apenas tratar los datos, se han aplicado diversos análisis estadísticos a estas series de inundación y precipitación para poder establecer sus relaciones con más detalle y contrastar los resultados obtenidos hasta el momento.

### 4.6.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES INDIVIDUALES DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIÓN

A continuación se han analizado las series temporales de precipitación e inundación, mediante diversas pruebas de aleatoriedad e independencia estadística, para pasar seguidamente a analizar sus relaciones por otros métodos estadísticos como la correlación de Spearman, el análisis de la varianza ANOVA y la regresión logística.

#### 4.6.1.1. Pruebas de aleatoriedad

Las pruebas o tests de aleatoriedad determinan si las series temporales son aleatorias, es decir, si no presentan un patrón o pauta fija de variación, y por tanto será imposible predecir su comportamiento, o si por el contrario presentan algún componente determinista que permita, a



través de la aplicación de métodos de filtrado y suavizado, estudiar y predecir su comportamiento, identificando tendencias y ciclos (Rodríguez Morilla, 2000; Swan y Sandilands, 1995; William Wei, 1989). Se han realizado tres pruebas de aleatoriedad, ayudándonos del paquete estadístico Statgraphics. Estos tres test de aleatoriedad son, primero la agrupación de los valores por encima y por debajo de la media, segundo la agrupación de valores ascendentes y descendentes y por último el test de Box-Pierce (SQG, 1995). Según estas pruebas, cuando los índices resultantes de los tres tests sean mayores que 0,01 no se podrá rechazar la hipótesis de aleatoriedad con un intervalo de confianza del 99%, y se considerará entonces que las series son aleatorias (Tabla 4.1).

Serie	TIPO DE TEST			
	Valores por encima y por debajo de la media	Valores ascendentes y descendentes	Test de Box-Pierce	Aleatoriedad
Precipitación anual Madrid	<b>1,082</b>	<b>0,967</b>	<b>0,903</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Madrid	<b>0,351</b>	<b>0,712</b>	<b>0,686</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Madrid	<b>0,149</b>	<b>0,569</b>	<b>0,910</b>	<b>Si</b>
Precipitación anual Toledo	<b>0,456</b>	<b>0,378</b>	<b>0,978</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Toledo	<b>0,592</b>	<b>0,703</b>	<b>0,956</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Toledo	<b>0,592</b>	<b>0,899</b>	<b>0,652</b>	<b>Si</b>
Precipitación anual Ciudad Real	0,001	0,025	0,000	--
Precipitación otoño Ciudad Real	<b>0,050</b>	<b>0,632</b>	<b>0,441</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Ciudad Real	<b>0,708</b>	<b>1</b>	<b>0,013</b>	<b>Si</b>
Precipitación anual Badajoz	0,018	0,838	0,001	--
Precipitación otoño Badajoz	0,005	0	0	--
Precipitación invierno Badajoz	1,07	0,240	0	--
Precipitación anual Albacete	<b>0,655</b>	<b>0,860</b>	<b>0,704</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Albacete	0,325	0,645	0	--
Precipitación invierno Albacete	0,180	0,500	0	--
Precipitación anual Valencia	<b>0,756</b>	<b>0,839</b>	<b>0,831</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Valencia	<b>1,071</b>	<b>0,505</b>	<b>0,869</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Valencia	<b>0,183</b>	<b>0,649</b>	<b>0,684</b>	<b>Si</b>
Precipitación anual Alicante	<b>0,758</b>	<b>1</b>	<b>0,489</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Alicante	<b>0,131</b>	<b>0,551</b>	<b>0,840</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Alicante	<b>0,424</b>	<b>0,151</b>	<b>0,399</b>	<b>Si</b>
Precipitación anual Murcia	<b>0,647</b>	<b>0,540</b>	<b>0,011</b>	<b>Si</b>
Precipitación otoño Murcia	<b>0,013</b>	<b>0,743</b>	<b>0,550</b>	<b>Si</b>
Precipitación invierno Murcia	0,722	0,815	0,001	--
Inundaciones Tajo	0	0,003	0,999	--
Inundaciones Guadiana	0,018	0	0,293	--
Inundaciones Júcar	0	0	0,527	--
Inundaciones Segura	0	0	0,978	--

**Tabla 4.1** – Índices de aleatoriedad de los tres tests aplicados. Se señalan en negrita los casos en los que los tres test arrojan valores mayores de 0,01, y por tanto indican que las series son aleatorias

Los resultados de estas pruebas de aleatoriedad indican que las siguientes series son aleatorias a un nivel de confianza del 99%:

- Precipitación total anual, invernales y otoñales de Madrid
- Precipitación total anual, invernales y otoñales de Toledo
- Precipitación total anual, invernales y otoñales de Valencia
- Precipitación total anual, invernales y otoñales de Alicante
- Precipitaciones otoñales e invernales de Ciudad Real
- Precipitación total anual y otoñales de Murcia
- Precipitación total anual de Albacete

Y en las siguientes series, alguno de los tests rechaza la hipótesis de aleatoriedad, por lo que las series podrían no ser completamente aleatorias:

- Precipitación total anual, invernales y otoñales de Badajoz
- Precipitación total anual de Ciudad Real
- Precipitaciones invernales y otoñales de Albacete
- Precipitaciones invernales de Murcia
- Todas las series de inundaciones

Los tests nos indican, por tanto, que pueden considerarse aleatorias las series de precipitación tanto anuales, como invernales y otoñales de casi todas las estaciones analizadas (excepto algunas series de Ciudad Real, Badajoz, Murcia y Albacete). Por el contrario, las series de inundaciones aparentemente no son aleatorias, por lo que habrá que analizarlas con otros métodos.

Una de las causas por la que unas series temporales resultan ser aleatorias y otras no, puede ser porque las series de precipitación presentan una variación de valores mucho mayor que las series de inundaciones. El número de inundaciones registradas varía en un rango mucho menor, y suele repetirse un mismo número de registros en varios años, por lo que puede disminuir la aleatoriedad de la serie.

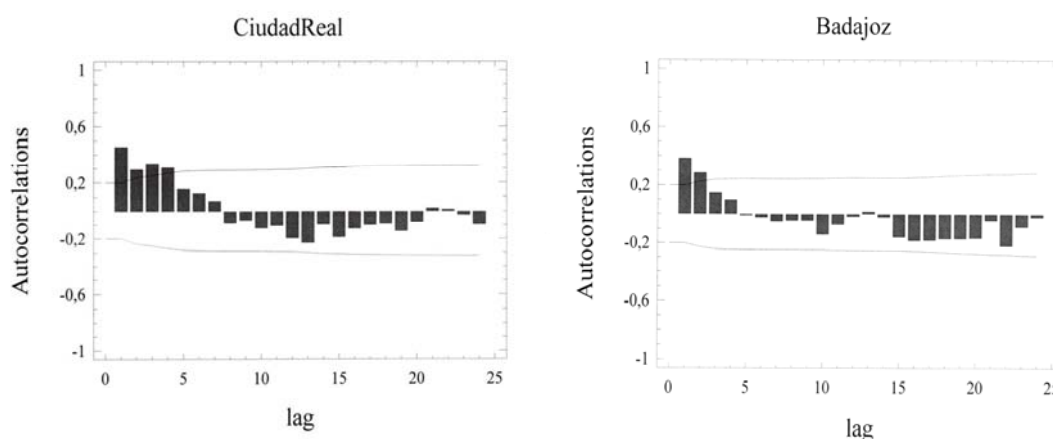
Por lo que se deduce de la *Tabla 4.1*, en algunos casos los tres tests dan resultados distintos para una misma serie de datos, por tanto, se ha creído conveniente utilizar otro método diferente como la autocorrelación para contrastar la aleatoriedad de estos resultados.

#### 4.6.1.2. Autocorrelación

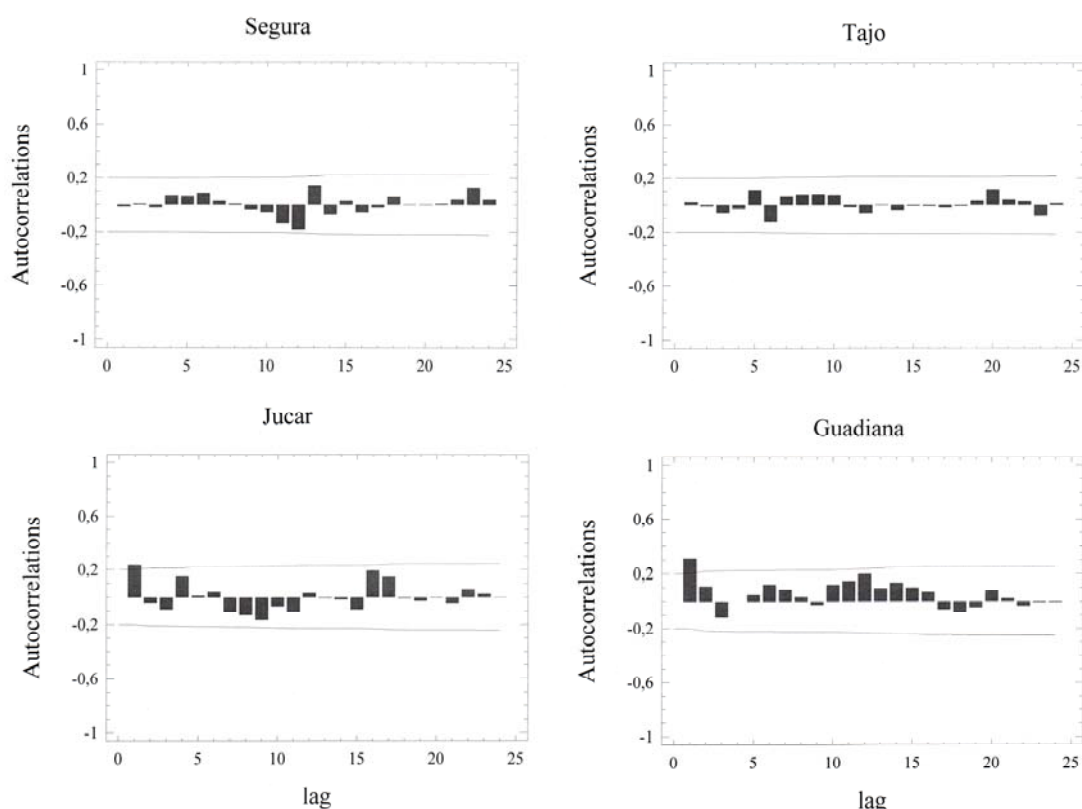
Los coeficientes de autocorrelación se utilizan para identificar también patrones o pautas de variación de las series temporales. Este método asocia las series temporales a diferentes períodos o intervalos de tiempo, según la repetitividad de los datos de la serie, asignando a cada intervalo un coeficiente de autocorrelación (Murray y Larry, 2002; SQG, 1995; Swan y Sandilands, 1995). El patrón de autocorrelación entre los datos identifica la aleatoriedad de la serie ya que si una serie de datos está fuertemente autocorrelacionada, tendrá un determinado patrón de variación puesto que hay valores dentro de la serie que se repiten o se relacionan entre sí.

Estudiando los coeficientes de autocorrelación de las series históricas de precipitación e inundaciones, y considerando que si estos coeficientes están fuera del rango de valores entre 0,2 y -0,2 la serie presenta autocorrelación, se obtienen los siguientes resultados:

Las series de precipitación no presentan autocorrelación, y por tanto son aleatorias, excepto las precipitaciones de Ciudad Real y Badajoz (Figura 4.2), ofreciendo por tanto unos resultados muy similares a los de los test de aleatoriedad. Por otro lado, considerando las inundaciones, se observa que las del Guadiana y Júcar sí están autocorrelacionadas, mientras que solo serían aleatorias las del Segura y Tajo (Figura 4.3). Estos resultados sí se diferencian ligeramente de los anteriores



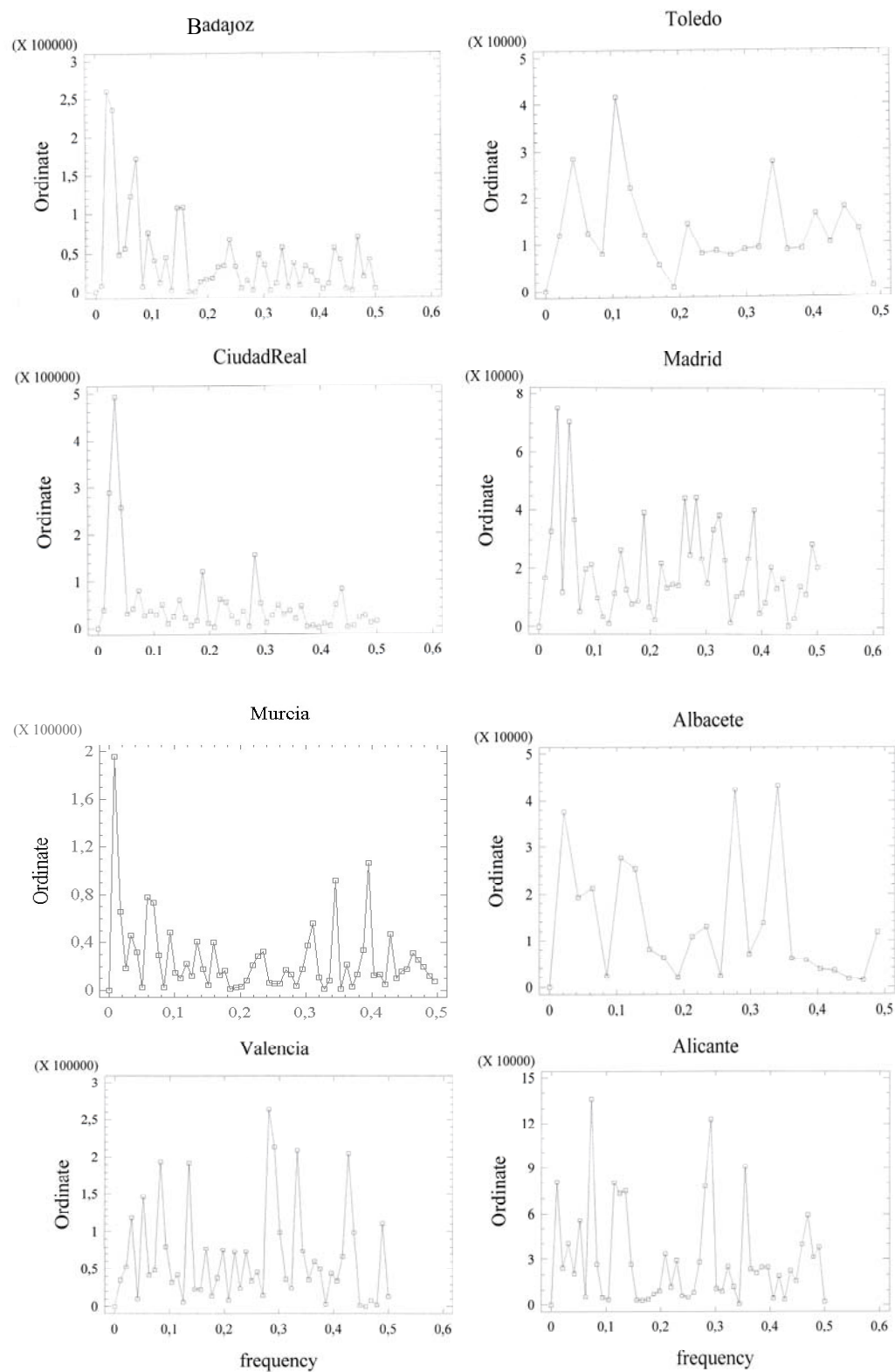
**Figura 4.2** – Gráficos que muestran la autocorrelación de las precipitaciones de Ciudad Real y Badajoz, con coeficientes por encima de 0,2



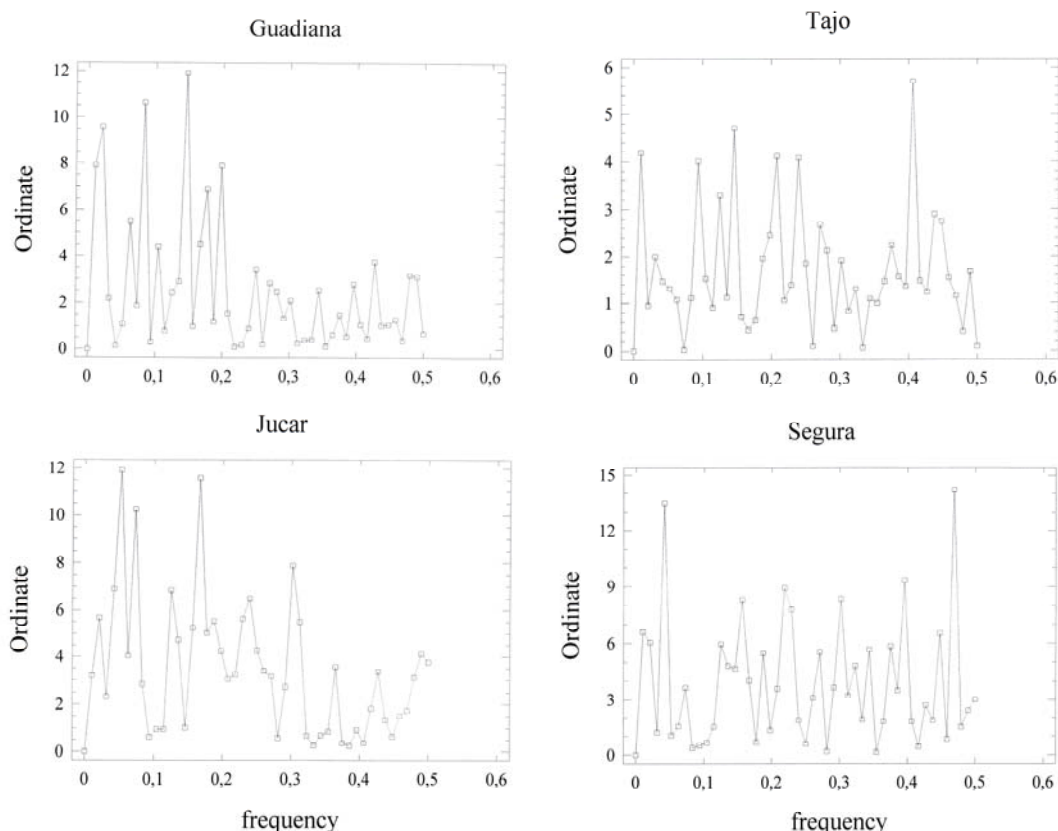
**Figura 4.3** - Gráficos que muestran la autocorrelación de las inundaciones en la cuenca del Guadiana, mientras que las del Tajo y Segura pueden considerarse aleatorias.

La autocorrelación también se puede representar mediante peridogramas, que son gráficos en los que se dividen las series temporales en intervalos de senos de onda de varias frecuencias. Esto permite analizar la aleatoriedad de las series observando las variaciones de frecuencias en que se agrupan los datos. Así cuanto mayor sea la variación de frecuencias mayor será también la aleatoriedad de la serie (Rodríguez, Llasat y Rojas, 1994)

Observando los peridogramas, existe ahora una diferencia clara entre las precipitaciones atlánticas y mediterráneas, las primeras presentan una menor variabilidad de frecuencias, mientras que las mediterráneas tienen una mayor variación, que indica que estas últimas son series más aleatorias (Figura 4.4). Respecto a las inundaciones, las del Tajo y Segura presentan una mayor variación de frecuencias y por tanto son aleatorias (Figura 4.5), al contrario que las del Guadiana y Júcar, como se vio a partir de la autocorrelación



**Figura 4.4** – Peridogramas de precipitaciones en las estaciones atlánticas y mediterráneas



**Figura 4.5** – Peridogramas de las inundaciones históricas en las cuatro cuencas estudiadas

Concluyendo respecto a la aleatoriedad de las series estudiadas tanto por los tres test aplicados como por la autocorrelación, puede decirse que las series de precipitación en general son aleatorias, salvo las de Badajoz y con algunas reticencias las de Ciudad Real. Respecto a las inundaciones, en principio no parecen aleatorias, excepto las del Tajo y Segura que según la autocorrelación sí lo son. La aleatoriedad de las inundaciones del Júcar es dudosa, pues solo un valor supera escasamente el 0.2, y solo se confirman como no aleatorias las del Guadiana.

El hecho de que unas series presenten aleatoriedad y otras no ocurre porque las series temporales en la naturaleza, especialmente en climatología, suelen tener un alto componente de aleatoriedad pero también presentan un componente determinista. Esto significa que es difícil encontrar en la naturaleza, por su complejidad, una serie totalmente aleatoria o totalmente determinista, pero se puede intentar predecir su comportamiento, en mayor o menor medida. También hay que tener en cuenta que en una serie temporal pueden existir valores anómalos que rompan la tendencia natural de la serie, o pueden existir ciclos que no tienen por qué repetirse a iguales intervalos de tiempo ni ser de igual duración y magnitud, y por tanto el conjunto de la serie seguiría teniendo una componente aleatoria, aunque esto no implica la imposibilidad de poder determinar ciertas pautas de comportamiento, como se ha visto en los análisis gráficos, en los que se han determinado estas pautas.

Pero, teniendo en cuenta la naturaleza compleja de la mayoría de las series analizadas, se hace necesario aplicar métodos estadísticos que permitan estudiar con mayor profundidad las posibles relaciones entre estas series.

#### 4.6.1.3. Pruebas de independencia estadística entre las inundaciones

Estas pruebas sirven como una primera aproximación para conocer el grado de dependencia entre las variables, y para completar las pruebas de aleatoriedad realizadas anteriormente. En este caso las variables serán el número de inundaciones históricas registradas en cada una de las cuatro cuencas estudiadas. Este método únicamente es apropiado para analizar la ocurrencia de inundaciones, por ser ésta una variable categórica.

Para realizar estas pruebas se ha aplicado el modelo de contraste Chi\_cuadrado  $\chi^2$  que permite comprobar, entre otras cosas, la independencia entre poblaciones (Peña, 1989). Este método consiste en la formulación de una hipótesis nula que puede ser rechazada o no en función del resultado de un análisis de probabilidad y frecuencias observadas y esperadas de las variables a estudiar.

Las variables que intervienen en este modelo son las inundaciones de las cuencas del Tajo, Guadiana, Segura y Júcar, y la hipótesis nula que se establece ( $H_0$ ) es que las variables son independientes.

A continuación se ha calculado el valor del estadístico ( $E$ ) que viene dado por la siguiente expresión:

$$E = \sum (O_i^2 / \delta_i \cdot n) = \sum ((O_i - \delta_i)^2 / \delta_i)$$

Dónde:

$n$  es el número de observaciones

$O_i$  es la frecuencia observada de cada variable

$\delta_i$  es la frecuencia esperada de cada variable, que representa la probabilidad de la clase bajo la hipótesis nula por el número de observaciones realizadas. La frecuencia esperada viene dada por la expresión  $\delta_i = (\sum A_i \cdot \sum B_i) / n$ , siendo:

$A_i$  las clases en que se han separado los datos, en este caso las clases serían las cuatro cuencas Tajo, Guadiana, Segura y Júcar

$B_i$  el valor que adquiere la variable inundación (ocurrencia o no ocurrencia de inundación en cada cuenca).

Por último, se ha calculado el valor de  $\chi^2 [\chi^2_{(K-1)(P-1); \alpha}]$ , según los valores percentiles tabulados para la distribución  $\chi^2$  (Figura 4.6) siendo K el número de clases  $A_i$  y P el número de valores  $B_i$ .  $\alpha$  representa el nivel de confianza al que realizamos las pruebas, en este caso se ha optado por un nivel de confianza del 95 %. Una vez calculados los valores del estadístico E y  $\chi^2$ , se comparan, y si  $E < \chi^2$  no se puede rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , es decir, no se puede descartar que las variables sean independientes.

$\nu$	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.0158	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.584	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.484	.297	.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	46.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.8	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Figura 4.6 – Valores percentiles  $\chi^2_p$  para la distribución chi cuadrado (Fuente: Murray y Larry, 2002)

Variables comparadas	Estadístico (E)	$\chi^2$	Resultado prueba de independencia
Inundaciones cuencas (Tajo, Guadiana, Júcar y Segura)	4,61	7,815	Independientes
<b>Inundaciones Tajo y Guadiana</b>	<b>41,3</b>	<b>3,841</b>	<b>No independientes</b>
<b>Inundaciones Júcar y Segura</b>	<b>6,73</b>	<b>3,841</b>	<b>No independientes</b>
Inundaciones Tajo y Júcar	0,38	3,841	Independientes
Inundaciones Tajo y Segura	0,81	2,14	Independientes
Inundaciones Guadiana y Júcar	1,076	3,841	Independientes
Inundaciones Guadiana y Segura	0,535	3,841	Independientes

Tabla 4.2 - Resultados del test Chi-cuadrado. Cuando  $E > \chi^2$  se rechaza la hipótesis de que las variables sean independientes



Los resultados obtenidos de estas pruebas dejan de manifiesto una clara asociación entre la ocurrencia de inundaciones entre las dos cuencas atlánticas, Tajo y Guadiana, por un lado, y entre las dos cuencas mediterráneas, Júcar y Segura, por otro (*Tabla 4.2*), pero no da evidencias de la existencia de dependencia entre ambas vertientes. Esto apoya en parte lo que se ha venido observando en los análisis gráficos, en los que se aprecian claras diferencias entre ambas vertientes respecto a la ocurrencia de inundaciones, tanto en sus variaciones temporales como en su distribución estacional. Sin embargo, en el análisis gráfico se observaban diferencias entre las inundaciones del Júcar y Segura.

Estos resultados, junto con los de las pruebas de aleatoriedad y autocorrelación nos ayudan a definir la naturaleza de las series temporales de precipitación e inundación de forma independiente, pero para conocer las relaciones existentes entre ambas y definir más claramente el comportamiento de las cuencas, se desarrollan a continuación otros métodos estadísticos.

#### 4.6.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPARATIVO ENTRE LAS SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN E INUNDACIONES

Los métodos estadísticos aplicados para el análisis comparativo de estas series históricas han sido el método de correlación de Spearman, el análisis de la varianza y la regresión logística, que tratamos en detalle a continuación.

##### 4.6.2.1. Correlación no paramétrica o de Spearman

Para definir las relaciones entre las precipitaciones e inundaciones históricas en las cuatro cuencas estudiadas se ha establecido, mediante la correlación de Spearman, una primera clasificación de las series que tienen un mayor coeficiente de correlación entre ellas. En el caso de las precipitaciones, se han considerado en este análisis tanto la lluvia anual como las precipitaciones de otoño e invierno.

La correlación de Spearman es un tipo de prueba estadística no paramétrica. Se ha elegido este tipo de prueba debido al problema que presenta el análisis de los registros anuales de inundación, que se mueven en un rango de valores entre 0 y 3 fundamentalmente. La correlación no paramétrica es independiente de la distribución de la población a estudiar por lo que su aplicación es adecuada para el análisis de variables no distribuidas normalmente (*Sánchez Martín, J. M., 1995; Swan y Sandilands, 1995*) y que se mueven dentro de un rango de valores muy estrecho y repetitivo, como es el caso de las inundaciones.

De esta forma evita llegar a conclusiones erróneas debido, por ejemplo, a la existencia de relación casual entre los datos o debido a la existencia de valores anómalos que pueden disparar los coeficientes de correlación.

La expresión de la correlación de Spearman viene dada por:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde  $D$  expresa las diferencias entre los rangos de los valores correspondientes a las variables a correlacionar ( $X$  e  $Y$ ) y donde  $N$  es el número de pares de valores  $X, Y$  (Murray y Larry, 2002).

De este análisis de Spearman podemos sacar dos tipos de información: por un lado, las relaciones de las series de precipitación y de inundación, tratadas independientemente y, por otro lado, la correlación entre ambas. Los coeficientes resultantes en este análisis se detallan en el *Anexo II*.

Así, la correlación entre las inundaciones muestra que las cuencas atlánticas (Tajo y Guadiana), tienen una cierta relación entre sí, pues su coeficiente es 0.34. Esta relación entre inundaciones no se observa en las cuencas mediterráneas del Segura y Júcar, con un coeficiente de 0.18, confirmando lo que se observaba en los análisis gráficos.

También muestran buena relación entre sí, por un lado, las precipitaciones anuales de las estaciones atlánticas (Madrid, Ciudad Real, Toledo y Badajoz), con coeficientes que oscilan entre 0.50 y 0.58 y, por otro lado, las precipitaciones anuales de las estaciones mediterráneas (Murcia, Albacete, Valencia y Alicante) con coeficientes entre 0.34 y 0.40 (Tabla 4.3). Las precipitaciones anuales de Albacete presentan correlación, tanto con las precipitaciones de las estaciones atlánticas, con coeficientes entorno a 0.50, como con las mediterráneas, con coeficientes entre 0.30 y 0.57.

<b>PRECIPITACIONES</b>	<b>Estaciones vertiente atlánticas</b>	<b>Estaciones vertiente mediterráneas</b>
<b>Estaciones vertiente atlántica</b>	<b>0.50-0.58</b>	no significativo
<b>Estaciones vertiente mediterránea</b>	no significativo	<b>0.34-0.40</b>
<b>Albacete</b>	<b>0.50</b>	<b>0.30-0.57</b>

**Tabla 4.3** - Coeficientes de correlación de Spearman más altos obtenidos entre precipitaciones de las distintas cuencas.

En cuanto al segundo aspecto, la correlación entre las inundaciones y las precipitaciones (*Tabla 4.4*), los coeficientes obtenidos no son muy altos, aunque se puede observar que las inundaciones de las cuencas atlánticas presentan cierta relación con las precipitaciones tanto anuales como invernales de las cuatro estaciones atlánticas (Madrid, Toledo, Badajoz y Ciudad Real). Solo las inundaciones del Guadiana guardan además cierta relación con las precipitaciones otoñales de Badajoz.

En la vertiente mediterránea las relaciones no son tan claras. Las inundaciones del Júcar se relacionan con las precipitaciones anuales de Murcia y con las precipitaciones otoñales de Alicante, Valencia y Murcia y, curiosamente, tienen también un cierto grado de relación con las anuales de Ciudad Real.

Por último, las inundaciones del Segura solo presentan una alta relación con las precipitaciones de Murcia, tanto anuales como otoñales. En los análisis gráficos, sin embargo, las inundaciones de esta cuenca también aparecían relacionadas con las precipitaciones de Albacete.

<i>PRECIPITACIONES</i>		<i>INUNDACIONES CUENCAS</i>			
		<i>Tajo</i>	<i>Guadiana</i>	<i>Júcar</i>	<i>Segura</i>
<b>Anuales</b>	<b>Badajoz</b>	<b>0.30</b>	0.29		
	<b>C. Real</b>	<b>0.35</b>	0.28		
	<b>Madrid</b>	<b>0.31</b>	<b>0.30</b>		
	<b>Toledo</b>	<b>0.41</b>	<b>0.31</b>		
	<b>Murcia</b>			<b>0.34</b>	<b>0.39</b>
<b>Invernales</b>	<b>Badajoz</b>	<b>0.33</b>	<b>0.30</b>		
	<b>C. Real</b>	<b>0.46</b>	<b>0.38</b>		
	<b>Madrid</b>	<b>0.41</b>	<b>0.32</b>		
<b>Otoñales</b>	<b>Badajoz</b>				
	<b>Murcia</b>			0.29	<b>0.39</b>
	<b>Alicante</b>			0.29	
	<b>Valencia</b>			<b>0.34</b>	

**Tabla 4.4** - Coeficientes de correlación de Spearman más altos obtenidos entre precipitaciones e inundaciones en las distintas cuencas (en negrita lo que se considera en este caso una buena correlación, a partir de 0.3)

Resumiendo estos resultados, las cuencas atlánticas siguen una tendencia similar en cuanto a la ocurrencia de inundaciones, al contrario de lo que se observa en las cuencas mediterráneas. Existe una relación clara entre las inundaciones de las cuencas atlánticas con las precipitaciones de las estaciones atlánticas (Badajoz, Ciudad Real, Madrid y Toledo), y esta relación es aún mayor si se consideran las precipitaciones invernales.

Las inundaciones del Júcar presentan relación con las precipitaciones otoñales mediterráneas (Alicante, Murcia y Valencia). Por otra parte, las inundaciones del Segura solo parecen estar influenciadas, según este método, por las lluvias de Murcia. En apartados anteriores, se vio también una cierta relación de las inundaciones del Segura con las lluvias otoñales de Albacete, sin embargo, según el método de Spearman, las lluvias de Albacete no se correlacionan bien con las inundaciones de ninguna cuenca (*Tabla 4.4*).

#### 4.6.2.2. Análisis de la varianza (ANOVA) entre precipitación e inundaciones

La correlación de Spearman sirve como primera aproximación antes de aplicar otros métodos estadísticos más precisos que definan aún mejor las relaciones que estamos estudiando. Este es el caso del análisis de la varianza que cuantifica la diferencia existente entre dos variables a través de sus medias. Esta relación entre las variables se puede expresar a través del parámetro  $P\_value$ , de forma que cuanto menor es  $P\_value$ , más significativa es la diferencia entre las variables, y por tanto los  $P\_values$  bajos (por debajo de 0.05) indican que la interacción o relación entre las variables es alta (SQG, 1995).

En este caso, las variables a comparar siguen siendo la magnitud de las precipitaciones anuales, otoñales e invernales y el número de inundaciones en las cuencas del Tajo, Guadiana, Júcar y Segura. Para aplicar el análisis de la varianza primero se han agrupado las precipitaciones de acuerdo con los años que presentan una, más de una o ninguna inundación. A continuación se han calculado las diferencias entre las medias de precipitación correspondientes a estos tres grupos. Si la diferencia entre las medias de precipitación de años con inundaciones y de años sin inundaciones es pequeña es porque la precipitación de estos años es similar y por tanto no existe una relación clara entre un aumento de inundaciones con una mayor precipitación. Por el contrario, si la diferencia entre las medias de los tres grupos de precipitación es alta, los  $P\_values$  son bajos, lo que indicará una alta relación entre el aumento de las precipitaciones y la ocurrencia de inundaciones. Estos resultados del análisis de la varianza se expresan en la *Tabla 4.5* y *Tabla 4.6*. Las mejores relaciones entre precipitaciones e inundaciones serán, por tanto, las correspondientes a  $P\_values$  más bajos, considerando significativos los menores de 0,05. Ver también *Anexo III*.

Cuenca	Tipo y estación de precipitación (variable dependiente)	Media de las precipitaciones (mm) de los años con 0, 1 o >1 inundaciones (variable independiente)			Diferencias entre las medias de precipitaciones (mm) de los años con 0, 1 o >1 inundaciones		P_value
		0 inundaciones	1 inundación	>1 inundación	entre 0 y 1	entre 0 y >1	
Tajo	Anual Toledo	334.30	409.80	411.18	-75.55	-76.88	0.004
	Anual Madrid	409.40	436.10	497.30	-26.74	-87.93	0.007
	Anual Badajoz	457.97	497.73	558.14	-39.76	-100.17	0.045
	Anual C. Real	328.60	400.36	476.84	-71.75	-148.20	0.003
	Anual Albacete	340.13	306.50	365.94	33.65	-25.81	0.193
	Anual Valencia	452.66	406.50	470.12	46.20	-17.46	0.440
	Anual Alicante	359.94	302.65	302.12	57.30	57.80	0.078
	Anual Murcia	328.80	275.64	300.40	53.15	28.42	0.093
	Invierno Madrid	140.50	177.10	223.10	-36.64	-82.65	0.000
	Otoño Madrid	123.11	144.40	133.30	-21.32	-10.20	0.444
	Invierno Badajoz	195.40	235.16	294.06	-39.80	-98.70	0.002
	Otoño Badajoz	142.18	129.20	164.01	12.94	-21.83	0.445
	Invierno C. Real	138.43	182.30	249.94	-43.83	-111.50	0.000
	Otoño C. Real	112.34	113.23	135.90	-0.89	-23.56	0.406
	Invierno Albacete	103.60	98.20	130.37	5.41	-26.80	0.064
	Otoño Albacete	103.49	98.03	108.90	5.46	-5.40	0.810
	Invierno Valencia	153.32	127.75	141.51	25.56	11.80	0.329
	Otoño Valencia	199.47	173.63	227.36	25.83	-27.90	0.469
	Invierno Alicante	114.63	102.70	90.54	11.95	24.10	0.411
	Otoño Alicante	159.30	132.70	123.10	26.60	36.14	0.316
	Invierno Murcia	119.40	98.120	126.80	21.30	-7.40	0.254
	Otoño Murcia	118.70	110.25	132.50	8.42	-13.80	0.680
Guadiana	Anual Toledo	352.30	370.05	414.70	-17.80	-62.44	0.108
	Anual Madrid	405.61	447.14	480.64	-41.53	-75.03	0.014
	Anual Badajoz	449.23	521.85	532.90	-72.60	-83.63	0.034
	Anual C. Real	334.61	406.47	433.90	-71.80	-99.30	0.041
	Anual Albacete	305.60	335.90	362.30	-30.34	-56.70	0.185
	Anual Valencia	451.60	443.30	414.70	8.30	36.90	0.761
	Anual Alicante	352.60	325.97	291.20	26.60	61.40	0.183
	Anual Murcia	325.91	284.10	289.13	41.80	36.80	0.320
	Invierno Madrid	146.90	164.60	212.20	-17.70	-65.30	0.005
	Otoño Madrid	113.90	152.40	139.30	-38.50	-25.36	0.066
	Invierno Badajoz	201.50	226.70	275.40	-25.20	-73.90	0.023
	Otoño Badajoz	119.80	171.80	147.30	-51.99	-27.50	0.058
	Invierno C. Real	143.34	170.42	235.55	-27.10	-92.22	0.000
	Otoño C. Real	107.80	126.34	123.30	-18.60	-15.50	0.453
	Invierno Albacete	102.80	103.30	119.80	-0.47	-16.97	0.360
	Otoño Albacete	102.31	96.970	111.04	5.33	-8.74	0.677
	Invierno Valencia	154.30	132.60	134.60	21.70	19.80	0.386
	Otoño Valencia	202.66	201.60	179.60	1.06	23.02	0.819
	Invierno Alicante	120.05	98.22	89.46	22.30	31	0.154
	Otoño Alicante	161.50	126.20	133.02	35.30	28.50	0.281
	Invierno Murcia	122.25	97.25	101.12	25	21.13	0.232
	Otoño Murcia	121.86	106.81	119.22	15.04	2.64	0.721

**Tabla 4.5** - Resumen del análisis de la varianza entre las medias de precipitaciones anuales y la ocurrencia de inundaciones en las cuencas atlánticas

Cuenca	Tipo y estación de precipitación (variable dependiente)	Media de las precipitaciones (mm) de los años con 0, 1 o >1 inundaciones (variable independiente)			Diferencias entre las medias de precipitaciones (mm) de los años con 0, 1 o >1 inundaciones		P_value
		0 inundaciones	1 inundación	>1 inundación	entre 0 y 1	entre 0 y >1	
Júcar	Anual Toledo	370.80	413.80	380.20	-43.01	-9.43	0.545
	Anual Madrid	431	444.40	432.30	-13.40	-1.30	0.909
	Anual Badajoz	491.70	486.71	469.20	4.96	22.50	0.874
	Anual C. Real	352.60	463.10	408.90	-110.60	-56.34	0.059
	Anual Albacete	321.70	363.80	385	-42.10	-63.30	0.190
	Anual Valencia	416.50	457.90	551.40	-41.40	-134.80	0.038
	Anual Alicante	315.20	338.80	410.90	-23.60	-95.70	0.030
	Anual Murcia	285.60	362.40	342	-76.80	-56.40	0.021
	Invierno Madrid	171.30	169.50	148.10	1.72	23.13	0.658
	Otoño Madrid	131	131.90	136.20	-0.72	-5.02	0.976
	Invierno Badajoz	234.70	197.50	214.20	37.20	20.50	0.469
	Otoño Badajoz	142.40	137.80	146.97	4.60	-4.60	0.971
	Invierno C. Real	174.33	171.10	175.90	3.20	-1.60	0.991
	Otoño C. Real	113.70	127.20	127.60	-13.50	-13.90	0.685
	Invierno Albacete	108.90	104	99.30	4.88	9.61	0.805
	Otoño Albacete	98.43	103.97	128.20	-5.50	-29.80	0.257
	Invierno Valencia	142.50	148.80	138.90	-6.32	3.55	0.943
	Otoño Valencia	167.32	209.80	361.70	-42.50	-194.40	0.000
	Invierno Alicante	104.70	101	120.50	3.70	-15.70	0.736
	Otoño Alicante	128	131.50	253.40	-3.54	-125.40	0.000
Segura	Invierno Murcia	104.80	146.50	100.90	-41.76	3.84	0.053
	Otoño Murcia	105.20	112.20	205.90	-6.97	-100.70	0.000
	Anual Toledo	386.30	430.60	329.80	-44.26	56.51	0.021
	Anual Madrid	445.80	419.99	417.70	25.80	28.10	0.418
	Anual Badajoz	516.70	452.90	455.99	63.80	60.70	0.119
	Anual C. Real	364.80	399.70	385.60	-34.90	-20.80	0.735
	Anual Albacete	347.70	339.70	297.90	8.02	49.90	0.199
	Anual Valencia	434.40	413.60	470.40	20.70	-36	0.561
	Anual Alicante	331.90	289.50	356.90	42.40	-25	0.224
	Anual Murcia	279.55	295.50	369	-15.90	-89.45	0.002
	Invierno Madrid	166.70	169.97	170.55	-3.23	-3.80	0.977
	Otoño Madrid	129.50	117.10	143.30	12.40	-13.80	0.542
	Invierno Badajoz	237.20	187.80	223.20	49.30	13.98	0.346
	Otoño Badajoz	147.50	118.50	141.75	29	5.70	0.624
	Invierno C. Real	171.70	170.60	180.60	1.16	-8.84	0.916
	Otoño C. Real	108.40	96.60	144.99	11.79	-36.60	0.032
	Invierno Albacete	107.90	112.20	103.02	-4.30	4.90	0.851
	Otoño Albacete	95.80	89.60	123.50	6.20	-27.70	0.080
	Invierno Valencia	139.70	152.10	145.70	-12.40	-6.03	0.850
	Otoño Valencia	189.40	179.20	219.90	10.20	-30.50	0.626
	Invierno Alicante	112.90	105.50	92.10	7.40	20.80	0.428
	Otoño Alicante	137.50	104.95	174	32.60	-36.50	0.104
	Invierno Murcia	109.70	117.12	112.02	-7.43	-2.33	0.918
	Otoño Murcia	94.20	99.56	159.72	-5.30	-65.50	0.000

**Tabla 4.6** - Resumen del análisis de la varianza entre las medias de precipitaciones anuales y la ocurrencia de inundaciones en las en las cuencas mediterráneas

Sintetizando los resultados anteriores, las relaciones más significativas que se obtienen ( $P_{\text{value}}$  menores de 0.05) entre las inundaciones y las precipitaciones son las que se reflejan en la *Tabla 4.7*

		<i>INUNDACIONES CUENCAS</i>			
<i>PRECIPITACIONES</i>		Tajo	Guadiana	Júcar	Segura
Anuales	Badajoz	0.045	0.034		
	C. Real	0.003	0.041		
	Madrid	0.007	0.014		
	Toledo	0.004			<b>0.021</b>
	Murcia			0.019	0.002
	Alicante			<b>0.030</b>	
	Valencia			<b>0.038</b>	
Inviernales	Badajoz	0.002	0.023		
	C. Real	0.000	0.000		
	Madrid	0.000	0.005		
Otoñales	C. Real				<b>0.032</b>
	Murcia			0.021	0.000
	Alicante			0.000	
	Valencia			0.000	

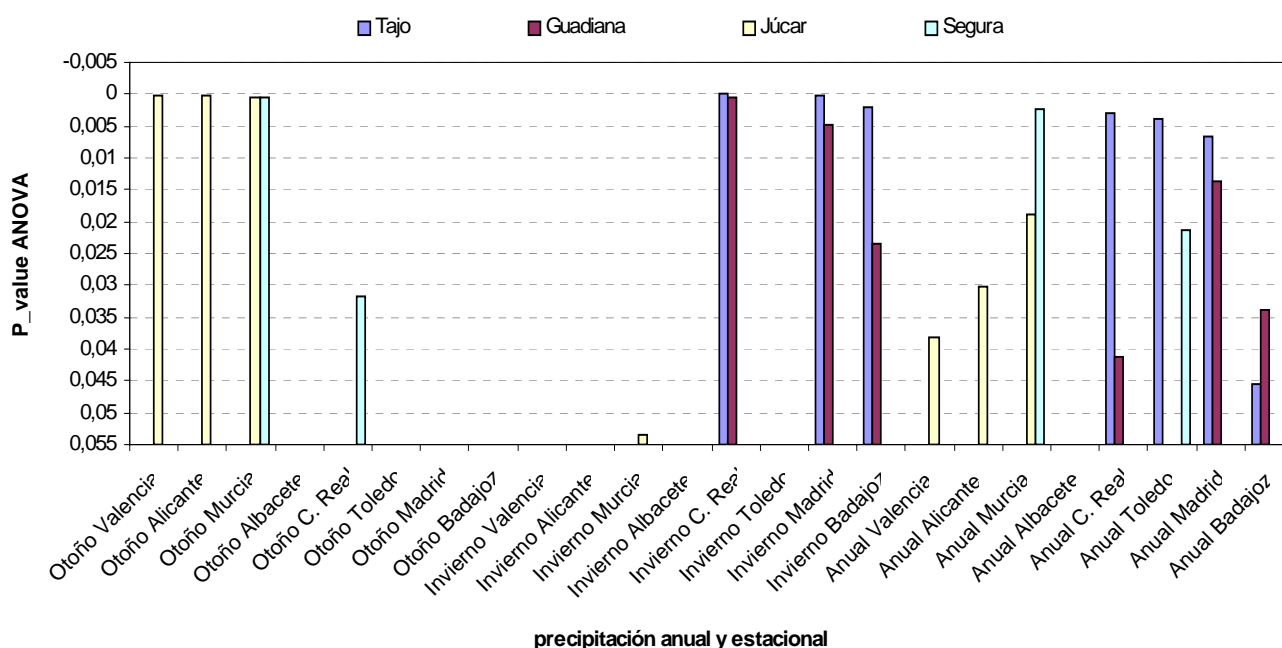
**Tabla 4.7** –  $P_{\text{value}}$  más bajos obtenidos en el análisis ANOVA que indican las relaciones entre precipitaciones e inundaciones en las diferentes cuencas. En negrita nuevas relaciones.

Según este análisis se observa una relación alta entre las inundaciones de la cuenca del Tajo y las precipitaciones de Ciudad Real, Badajoz y Madrid, tanto anuales como invernales, y solo invernales de Toledo. Esta misma relación la observamos en la cuenca del Guadiana, excepto para las precipitaciones de Toledo que no guardan ninguna relación

En cuanto a las cuencas mediterráneas, la cuenca del Júcar presenta una alta relación con las precipitaciones, tanto anuales como otoñales, de Alicante, Valencia y Murcia. Las inundaciones de la cuenca del Segura solo tienen una alta relación con las precipitaciones de Murcia, tanto otoñales como anuales, pero, curiosamente, aparecen relacionadas con las precipitaciones otoñales de Ciudad Real y anuales de Toledo, es decir, presentan relación además con algunas precipitaciones atlánticas.

En síntesis, las inundaciones de las cuencas del Tajo y Guadiana tienen un comportamiento muy similar respecto a las precipitaciones, especialmente con las invernales de la mayoría de estaciones atlánticas. En cambio, las dos cuencas mediterráneas, Júcar y Segura, no son tan similares entre sí. Estas dos últimas cuencas se relacionan con las precipitaciones de Murcia, pero más claramente con las precipitaciones otoñales. Las inundaciones del Júcar se correlacionan además con las precipitaciones de Valencia y Alicante, tanto anuales como otoñales.

Una síntesis de los resultados del análisis de la varianza se expresa en el *Gráfico 4.28*, donde se puede observar que las relaciones son muy similares a las obtenidas en el análisis de correlación de Spearman, salvo las nuevas relaciones que aparecen entre las inundaciones del Segura y las precipitaciones anuales de Toledo y otoñales de Ciudad Real. Además, cabe señalar que la estación de Albacete no presenta una buena relación con ninguna de las cuencas.



**Gráfico 4.28** – Resultados gráficos del análisis de la varianza (ANOVA). Relaciones más altas entre ocurrencia de inundaciones en las cuatro cuencas y precipitaciones anuales y estacionales

#### 4.6.2.3. Regresión Logística

Conocidas de forma más clara estas relaciones entre la ocurrencia de inundaciones y las precipitaciones en las cuencas del centro peninsular, se ha aplicado a estas variables el método de regresión logística que permite no solo dar mayor apoyo al análisis estadístico, si no también establecer un modelo predictivo basado en las relaciones descritas.

En nuestro caso, el método de regresión logística determina las relaciones existentes entre un grupo de variables continuas o numéricas, como son las precipitaciones, que constituyen las variables independientes, y una variable categórica, la dependiente, como es la ocurrencia o no de inundaciones en cada cuenca. Este método no solo permite dar mayor apoyo a los análisis estadísticos de las series, sino que además permite establecer un modelo de predicción de probabilidad de ocurrencia de la variable categórica en función de las variables continuas (Murray y Larry, 2002; Afifi & Clark, 1998).



La ecuación de regresión logística representa en este caso la probabilidad de que ocurra o no una inundación en función de las precipitaciones relacionadas, según la expresión:

$$P=1/1+e^{-(a+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\dots+\beta_n x_n)}$$

Siendo:

P.- probabilidad de ocurrencia de la variable dependiente categórica

$\beta_n$ .- es el valor del estimador o peso relativo de cada variable independiente respecto a la variable dependiente

a.- es el valor del estimador del punto de intercepción

$x_n$ .- es el valor de la variable numérica independiente en cada año analizado

Esta expresión está relacionada con el término “odds ratio” o probabilidad de que ocurra un determinado suceso frente a su complementario (P/1-P), así cuando P/1-P es mayor que 1 significa que al aumentar el valor de la variable independiente, la probabilidad de que ocurra el suceso definido por la variable dependiente también aumenta.

El análisis de regresión logística se ha realizado con el Sistema de Análisis Estadístico SAS. Para ello se han utilizado las series históricas de inundaciones y precipitaciones desde 1854 hasta 1985, considerando como variable dependiente la ocurrencia o no de inundaciones en cada año y en cada una de las cuatro cuencas, y como variables independientes las precipitaciones anuales e invernales y las otoñales, de estas últimas se han considerado tanto las del año analizado como las del año antecedente, ya que las inundaciones que ocurren en los primeros meses del año pueden estar influenciadas por las lluvias de los últimos meses, los otoñales, del año anterior, además la respuesta hidrológica de una cuenca en cuanto a la generación de caudales de inundación depende en gran medida de la humedad antecedente. Además en el Tajo se ha realizado el análisis tanto incluyendo la estación de Toledo como excluyéndola, al ser una serie anómala por su escasa longitud.

Este análisis ha constado de varias fases. En primer lugar, se han analizado las relaciones entre todas las variables, seleccionando aquellas que tienen mayores valores del estimador  $\beta_n$  y los valores más bajos de  $Pr>ChiSq$  (Tabla 4.8). Los valores altos de  $\beta_n$  y bajos de  $Pr>ChiSq$  indican una buena capacidad explicativa del modelo y la existencia de independencia estadística entre las variables continuas. Se ha realizado este análisis con tres niveles de confianza (95, 90 y 85 %) para ver si al ampliar este margen se obtiene mejor explicación. Con estos criterios se han seleccionado los mejores modelos posibles, que se han señalado con un asterisco en la Tabla 4.8. Los resultados detallados de este análisis se muestran en el Anexo IV.

Si observamos la tabla en algunos casos como en el Tajo (incluyendo Toledo) y otros como el Segura, al rebajar el nivel de confianza no se aprecian diferencias significativas, por lo que se elige el nivel de confianza más alto. En otros casos, como en el Júcar, al rebajar el nivel de confianza se incorpora otra estación que puede ayudar a explicar mejor el funcionamiento de la cuenca, por lo que se ha optado por seleccionar este modelo.

INUNDACIONES		MODELOS	PRECIPITACIONES	Estimador $\beta_n$	Pr>ChiSq	Nivel de confianza
TAJO	con Toledo	Modelo 1	C.Real inv	1.0192	0.0063	95% (*)
			Albacete	-1.3858	0.0015	
			Toledo	1.2281	0.0023	
		Modelo 2	C.Real inv	1.0192	0.0063	85%
			Albacete	-1.3858	0.0015	
			Toledo	1.2281	0.0023	
	sin Toledo	Modelo 3	C.Real inv	1.1438	<0.0001	95%
			Albacete	-0.5485	0.0186	
		Modelo 4	C.Real inv	0.8555	0.0052	90% (*)
			Albacete	-0.8004	0.0027	
			Madrid	0.6331	0.0219	
			Valencia_otl	-0.4096	0.0215	
GUADIANA	Modelo 5	Badajoz inv		1.1214	0.0002	95% (*)
				0.9864	0.0035	90%
		Modelo 6	C.Real	0.6235	0.0313	
			Alicante	-0.4564	0.0469	
	Modelo 7	Badajoz inv		0.8733	0.0001	90%
			Alicante inv	-0.6778	0.0569	
			Madrid_ot	1.0258	0.0086	
			Albacete_ot	-1.0372	0.0246	
JÚCAR	Modelo 8	Valencia		0.3472	0.0032	95%
				0.2958	0.0162	85% (*)
			Murcia_ot	0.4797	0.1123	
SEGURA	Modelo 9	Murcia ot		1.0103	0.0078	95% (*)
			Albacete	-0.6825	0.0081	
			Murcia	0.5077	0.0320	

X: precipitación anual del año de la inundación  
X1: precipitación del año antecedente al de la inundación  
X\_inv: precipitación de invierno del año de la inundación  
X\_ot: precipitación de otoño del año de la inundación  
X\_otl: precipitación de otoño del año antecedente al de la inundación

**Tabla 4.8** - Modelos de regresión logística obtenidos. Los señalados con (\*) son los que presentan un mejor ajuste y una mayor capacidad explicativa.

Según esto vemos que las inundaciones del Tajo están muy relacionadas con las precipitaciones de invierno de Ciudad Real y las anuales de Toledo y Albacete. Además si excluimos Toledo del análisis, por ser la serie que menos datos presenta, pasan a ser representativas las lluvias anuales de Madrid, y las de otoño del año antecedente de Ciudad Real, y curiosamente, de Valencia. En la cuenca del Guadiana las inundaciones están relacionadas principalmente con las lluvias invernales de Badajoz, pero si abrimos el margen de confianza, entran también a ser muy representativas las precipitaciones anuales de Ciudad Real y otoñales de Madrid, e influyen ligeramente las de Alicante y Albacete.

---

---

Las inundaciones del Júcar están muy relacionadas con las lluvias anuales de Valencia y las otoñales de Murcia, y las del Segura con las lluvias de anuales de Albacete y las anuales y otoñales de Murcia.

Esto aporta nuevos matices al estudio ya que, por un lado, se confirma la relación de las lluvias de Albacete tanto con las inundaciones de la vertiente mediterránea como de la atlántica, pero con éstas últimas las relaciones son negativas. Las inundaciones de la cuenca del Tajo y del Guadiana, están influenciadas tanto por precipitaciones atlánticas como mediterráneas, aunque con estas últimas tienen relaciones negativas, y aunque ambas cuencas están más influenciadas por las lluvias invernales, en el Guadiana aparecen también como representativas las precipitaciones otoñales de Madrid, lo que supone un comportamiento más complejo de esta cuenca. Se confirma, por tanto, la mayor influencia de las precipitaciones invernales en las inundaciones atlánticas frente a la influencia de las lluvias otoñales en las inundaciones mediterráneas, y además se pone de manifiesto la importancia de las lluvias otoñales antecedentes frente a las inundaciones de principios de año, concretamente en la cuenca del Tajo.

Por tanto, como se puede observar las inundaciones en las cuencas atlánticas presentan relación no solo con las precipitaciones altas atlánticas de invierno u otoño del año antecedente, sino también con bajas precipitaciones mediterráneas antecedentes (valores negativos del estimador  $\beta_n$ ). Por el contrario, las inundaciones del Júcar y del Segura tienen una alta relación solo con las precipitaciones mediterráneas, sobre todo con las de otoño. Por otra parte, Albacete tiene una relación inversa tanto con la cuenca del Segura como con las del Tajo y Guadiana.

En anteriores análisis se han observado relaciones entre precipitaciones atlánticas e inundaciones mediterráneas, como en el caso de Spearman en que veíamos influencia de las lluvias de Ciudad Real en el Júcar o en el análisis de la varianza en el que las lluvias de Toledo y Ciudad Real influían en las inundaciones del Segura. En el análisis de regresión no se han observado estas influencias pero, en cambio, sí se han detectado relaciones entre inundaciones atlánticas y lluvias mediterráneas, aunque recordemos que estas relaciones son negativas.

Una vez analizados estos modelos y las relaciones que representan, se han validado aquellos que presentan un mejor ajuste (*Tabla 4.9*) valorando su capacidad predictiva.

INUNDACIONES	MODELOS	PRECIPITACIONES	Nivel de confianza
TAJO	Modelo 1	C.Real_inv	95%
		Albacete	
		Toledo	
	Modelo 4	C.Real_inv	90%
		Albacete	
		Madrid	
		Valencia_otl	
		C.Real_otl	
GUADIANA	Modelo 5	Badajoz_inv	95%
JÚCAR	Modelo 9	Valencia	85%
		Murcia_ot	
SEGURA	Modelo 10	Murcia_ot	95%
		Albacete	
		Murcia	

**Tabla 4.9** – Modelos de regresión seleccionados para la predicción por su mejor ajuste y capacidad explicativa

La capacidad predictiva de cada modelo viene dada por el área bajo la curva Roc correspondiente (

Gráfico 4.29, Gráfico 4.30 y Gráfico 4.31). Cuanto más cercano a 1 sea el valor del área bajo la curva Roc mayor será la capacidad predictiva del modelo. Por otra parte hay que determinar el punto de inflexión de estas curvas Roc, donde se gana especificidad<sup>(1)</sup> sin perder sensibilidad del modelo, o dicho de otra forma, el punto donde se iguala el número de aciertos positivos y negativos en la predicción de ocurrencia de inundaciones, en función de unas precipitaciones conocidas. Este punto de inflexión corresponderá a una determinada probabilidad de ocurrencia de inundaciones que es la que se considera adecuada para cada modelo predictivo (Tabla 4.10). Según estas condiciones, los modelos propuestos presentan una buena capacidad predictiva, lo que indica una fiabilidad en las relaciones obtenidas por este método entre las variables precipitación y ocurrencia de inundaciones.

<sup>(1)</sup> Si colocásemos los resultados de la calibración del modelo en una tabla donde se comparasen los valores reales de la variable dependiente (si inundación/no inundación) y los valores de esta variable predichos por el modelo:

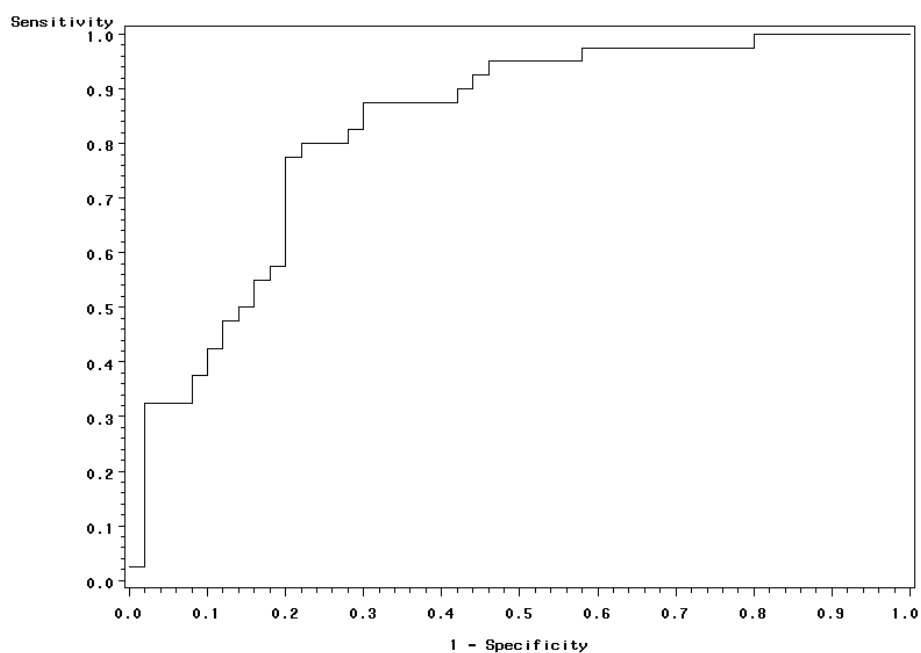
		Valores reales	
		SI	NO
Valores predichos	SI	A+	F+
	NO	F-	A-

Siendo A+ los aciertos positivos, A- los aciertos negativos y F los no aciertos, la sensibilidad del modelos será el número de aciertos positivos (A+) y la especificidad viene dada por el número de aciertos negativos (A-)

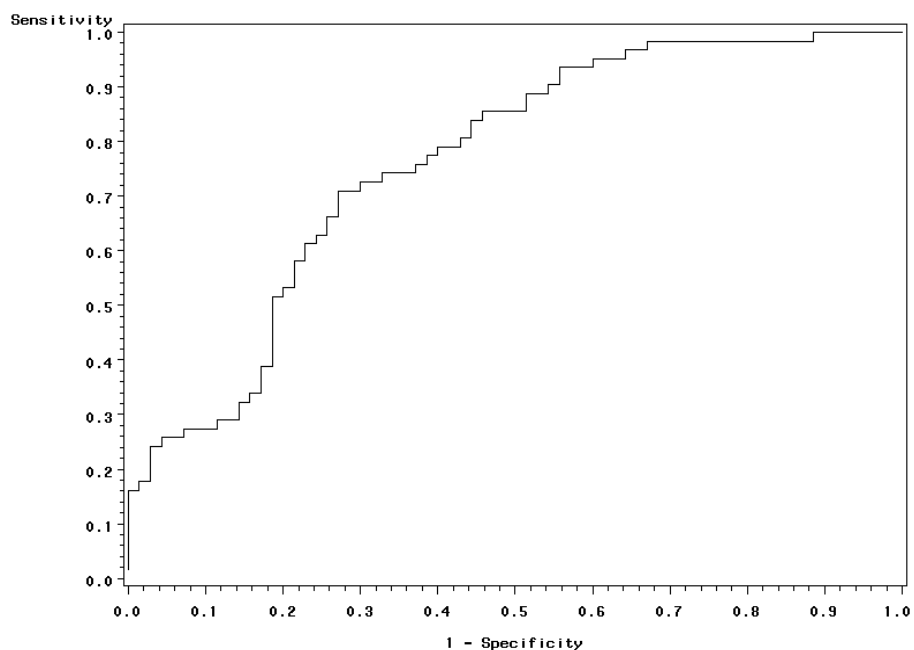
CUENCA	MODELOS SELECCIONADOS	PROBABILIDAD (Pr)
Tajo	Modelo 1	0,30
	Modelo 4	0,45
Guadiana	Modelo 5	0,40
Júcar	Modelo 9	0,25
Segura	Modelo 10	0,40

**Tabla 4.10** – Probabilidades de corte (Pr) más adecuadas para cada modelo de Regresión Logística

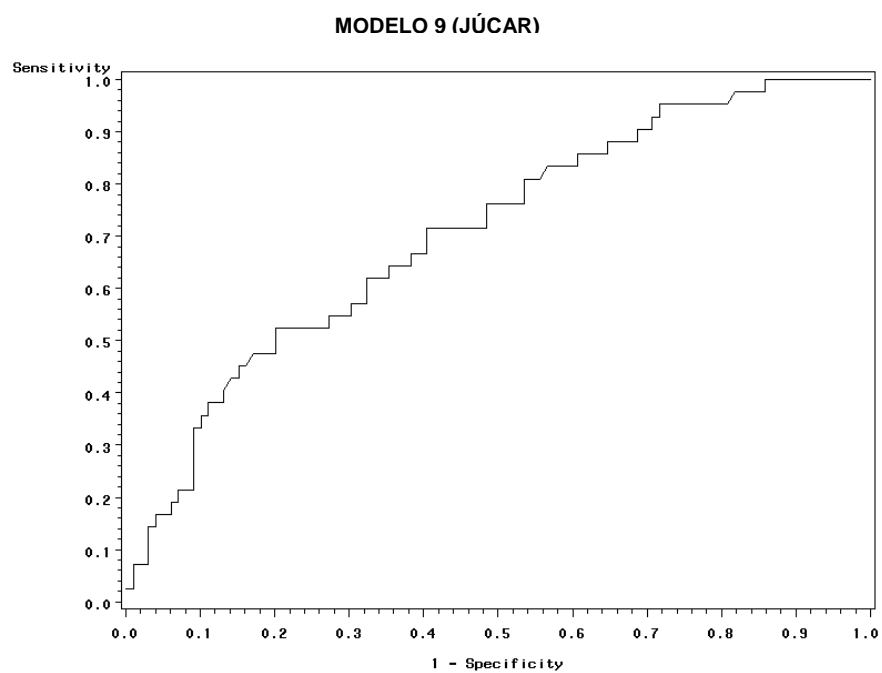
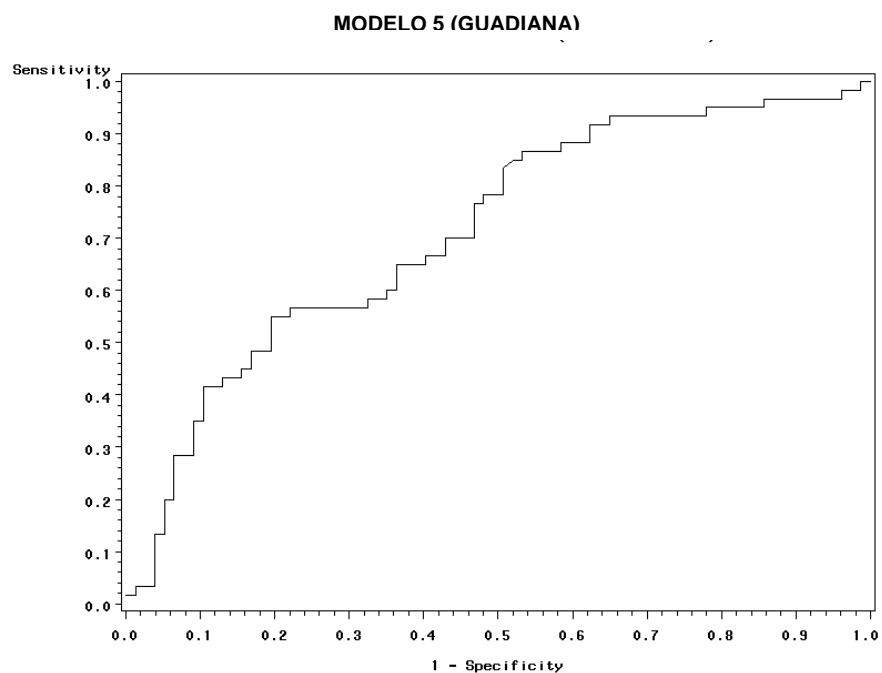
**MODELO 1 (TAJO)**



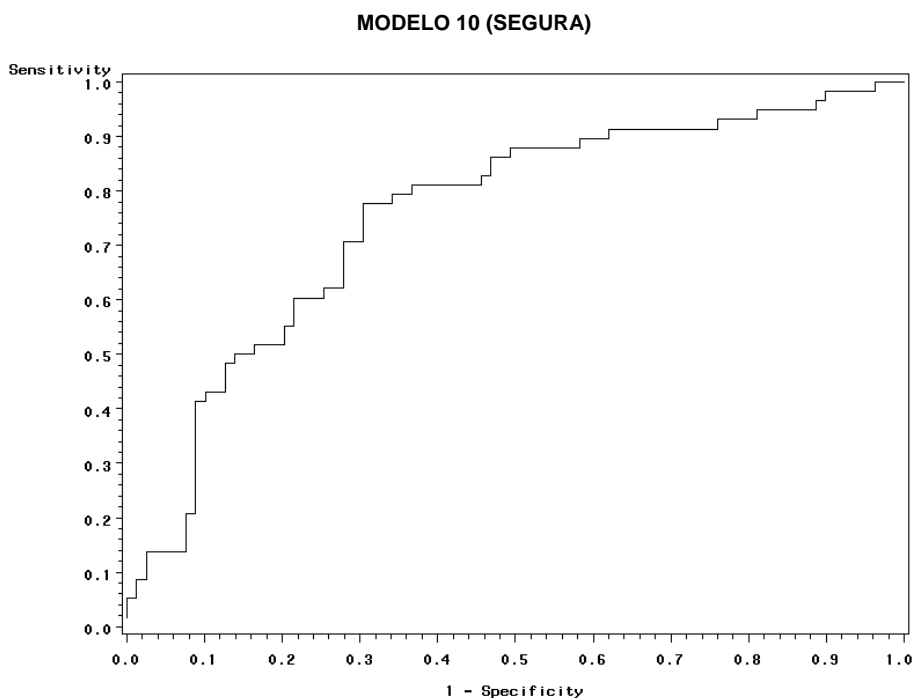
**MODELO 4 (TAJO)**



**Gráfico 4.29** – Curvas Roc de validación de los modelos de regresión logística en la cuenca del Tajo



**Gráfico 4.30** - Curvas Roc de validación de los modelos de regresión logística en la cuenca del Guadiana y Júcar



**Gráfico 4.31** - Curvas Roc de validación de los modelos de regresión logística en la cuenca del Segura

Una vez comprobada la capacidad predictiva de los modelos y determinadas las probabilidades (Pr) más adecuadas de los mismos, se desarrollará el modelo predictivo. En él se contrastarán estas probabilidades con las que se obtendrán al ajustar las ecuaciones de regresión logística con los valores de precipitación. En el apartado siguiente se explica con más detalle este modelo predictivo.

#### 4.6.2.3.1. Modelo predictivo de Regresión Logística.

Una vez validados los modelos de regresión se han determinado sus ecuaciones de regresión predictivas correspondientes a cada cuenca (*Tabla 4.11*). El objetivo de aplicar estos modelos es poder determinar, a partir de unos valores de precipitación dados, la probabilidad de ocurrencia de inundaciones. En estas ecuaciones los valores de precipitación se expresan en centésimas de mm., por problemas de resolución gráfica. Para comprobar la validez predictiva de estas ecuaciones, se han utilizado las medias de las series de precipitaciones correspondientes (*Tabla 4.12*). Estimando las ecuaciones de regresión para cada uno de estos valores de precipitación, se ha obtenido una probabilidad de ocurrencia de inundaciones en cada cuenca (Pe). Los resultados de estas ecuaciones se han contrastado con las probabilidades (Pr) determinadas a partir de las curvas Roc para la validación de los modelos, comprobando que ambas probabilidades Pe y Pr son muy similares (*Tabla 4.13*). Esto significa que los valores medios de precipitación marcan un límite, por encima del cual aumentará la probabilidad de

ocurrencia de inundaciones, y además se confirma la capacidad predictiva de estos modelos, por lo que podemos considerar como fiables las relaciones entre inundaciones y precipitaciones obtenidas mediante este estudio.

A pesar de que los modelos estudiados presentan un buen ajuste y explican la ocurrencia de inundaciones en función de una determinada precipitación, las probabilidades que se obtienen son bajas, esto es debido a que en la ocurrencia de inundaciones influyen muchos otros factores aparte de la precipitación, por lo que el funcionamiento de las cuencas no queda totalmente explicado a partir de estos modelos ni definiendo únicamente las relaciones entre inundaciones y precipitaciones. Por ello, en los capítulos siguientes se van a analizar en detalle estos otros factores que influyen en la generación de caudales de avenida.

CUENCAS	MODELOS	ECUACIONES DE REGRESIÓN LOGÍSTICA
<b>Tajo</b>	<b>Moledo 1</b>	$Pe = 1 / 1 + 2,72^{-(-1,91 + 1,28 * \text{precipitación anual Toledo} + 0,98 * \text{precipitación C. Real invierno} - 1,42 * \text{precipitación anual Albacete})}$
	<b>Modelo 4</b>	$Pe = 1 / 1 + 2,72^{-(-1,4 + 0,85 * \text{precipitación C. Real invierno} - 0,8 * \text{precipitación anual Albacete} + 0,63 * \text{precipitación anual Madrid} - 0,41 * \text{precipitación Valencia otoño año antecedente} + 0,6 * \text{precipitación C. Real otoño año antecedente})}$
<b>Guadiana</b>	<b>Modelo 5</b>	$Pe = 1 / 1 + 2,72^{-(-1,96 + 0,8 * \text{precipitación Badajoz invierno})}$
<b>Júcar</b>	<b>Modelo 9</b>	$Pe = 1 / 1 + 2,72^{-(-3,06 + 0,34 * \text{precipitación anual Valencia} + 0,50 * \text{precipitación Murcia otoño})}$
<b>Segura</b>	<b>Modelo 10</b>	$Pe = 1 / 1 + 2,72^{-(-0,43 + 0,38 * \text{precipitación anual Murcia} + 1,02 * \text{precipitación Murcia otoño} - 0,63 * \text{precipitación anual Albacete})}$

**Tabla 4.11** – Ecuaciones de regresión logística obtenidas en base a los modelos con mejor ajuste y capacidad predictiva. Pe representa la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en cada cuenca en función de las precipitaciones correspondientes

CUENCAS	Estación	Precipitación media de la serie (mm)
<b>Tajo</b>	Toledo anual	368,2
	Madrid anual	430,1
	Ciudad Real invernal	162,7
	Ciudad Real otoñal	118,6
	Albacete anual	351,9
	Valencia otoñal	190
<b>Guadiana</b>	Badajoz invernal	212,9
<b>Júcar</b>	Valencia anual	424,8
	Murcia otoñal	110,7
<b>Segura</b>	Albacete anual	351,9
	Murcia anual	304,8
	Murcia otoñal	110,7

**Tabla 4.12.-** Medias de precipitación en las estaciones que intervienen en los modelos de regresión logística.



CUENCAS	MODELOS	Probabilidad según curvas Roc (Pr)	Probabilidad calculada según ecuaciones de regresión (Pe)
Tajo	Modelo 1	0,30	0,35
	Modelo 4	0,45	0,46
Guadiana	Modelo 5	0,40	0,43
Júcar	Modelo 9	0,25	0,26
Segura	Modelo 10	0,40	0,41

**Tabla 4.13.-** Comparación de probabilidades obtenidas en los modelos de regresión y probabilidades calculadas con las ecuaciones de regresión utilizando los valores medios de precipitación.

En vista de los resultados de todos estos análisis estadísticos de las series temporales históricas de precipitación e inundaciones, se han podido determinar las relaciones y las tendencias de las precipitaciones e inundaciones a escala regional en las cuencas del centro peninsular de una forma exhaustiva. Aún así, si estudiásemos las cuencas a una mayor escala, observaríamos que cuencas con situaciones geográficas similares y características climáticas también similares generan caudales de avenida distintos. De hecho a lo largo de este capítulo se ha podido comprobar que en algunos casos las relaciones entre precipitaciones e inundaciones son más difíciles de determinar ya que, aunque la mayor parte de inundaciones se deben a lluvias de alta magnitud, en la generación de caudales de avenida intervienen muchos más factores además de la precipitación, como son la litología, la morfología y las pendientes de la cuenca, la cubierta vegetal, etc. Estos parámetros físicos son característicos y diferentes en cada cuenca, y determinan la ocurrencia de avenidas y su magnitud. En los siguientes capítulos se estudiará con detalle la generación de caudales de avenida en función de todos estos parámetros. A continuación se discuten conjuntamente todos estos resultados.

## 4.7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS INUNDACIONES

El análisis temporal de las series de inundaciones y su relación con las de precipitación, así como su tratamiento estadístico, se ha ensayado en algunas ocasiones en la Península Ibérica, aunque los resultados no han sido muy resolutorios por el momento. En nuestro estudio hemos planteado distintos enfoques para el análisis de estas series temporales: el estudio de posibles tendencias u oscilaciones en la recurrencia de avenidas, la relación entre las avenidas y las series de precipitación y finalmente su relación con los periodos secos y húmedos.

---

#### 4.7.1. LOS ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Los análisis de tendencias intentan determinar un patrón de variabilidad en las series y en nuestro caso no parecen poderse definir tendencias claras a partir del tratamiento y suavizado de las series, aunque si se han detectado ciertas oscilaciones o periodos de anomalías positivas de avenidas, como discutiremos posteriormente.

Sintetizando los estudios de otros autores, *Llasat et al. (2004)* consideran también que no se han establecido tendencias significativas en las series de inundaciones de la Península. *Llasat et al (2003)* aplicando diversos métodos como los de Spearman, Man-Kendall y el de las pendientes acumuladas, solo encuentran tendencias en las avenidas extraordinarias del Maresme (Cataluña). Lo mismo ocurre con las series de precipitación, que tampoco ofrecen tendencias definidas. Incluso, tampoco se encuentra ninguna tendencia en algunas de las series más antiguas de precipitación de la Península.

Un rasgo significativo de nuestras series, sin embargo, es el aumento progresivo que se produce en el número de avenidas en la mayoría de las cuencas desde el siglo XIX pero que hay que relacionarlo más bien con el tipo de los registros. De hecho, el análisis estadístico de datos hidrometeorológicos, tanto de precipitación como de caudales o de avenidas, presenta problemas iniciales de la calidad de los datos obtenidos de fuentes muy diversas y en ocasiones de registros muy heterogéneos y de fiabilidad no contrastada. La comparación de los datos de avenidas presenta por tanto, en primer lugar el problema de la falta de homogeneidad de las series derivadas de la peculiaridad del registro de datos.

Los datos de inundaciones, por ejemplo, representan generalmente registros ocasionales y con poca certeza de su fiabilidad debido a la falta de continuidad en el registro y la subjetividad en los datos aportados con ausencia de parámetros medibles. En este sentido es interesante el estudio realizado por Martín Vide, J. (1997), que aplicando la distribución de Poisson a las series de inundaciones de varias ciudades españolas observa, que las avenidas catastróficas sí se adaptan a una distribución homogénea, mientras que extraordinarias no lo hacen en todos los casos. Eso sería achacable al grado de subjetividad en el registro de los datos, que sin embargo no ofrece tantas dudas cuando se trata de referenciar las avenidas realmente catastróficas.

De hecho, el sensible aumento de las avenidas que observamos nosotros en las cuencas atlánticas a partir del siglo XIX podría achacarse en gran parte a una mejora en los sistemas de registro, que en el mediterráneo ya era tradicional previamente por el gran desarrollo de las acequias de regantes.

#### 4.7.2. LAS OSCILACIONES DE LA SERIE Y PERIODOS ANÓMALOS DE AVENIDAS

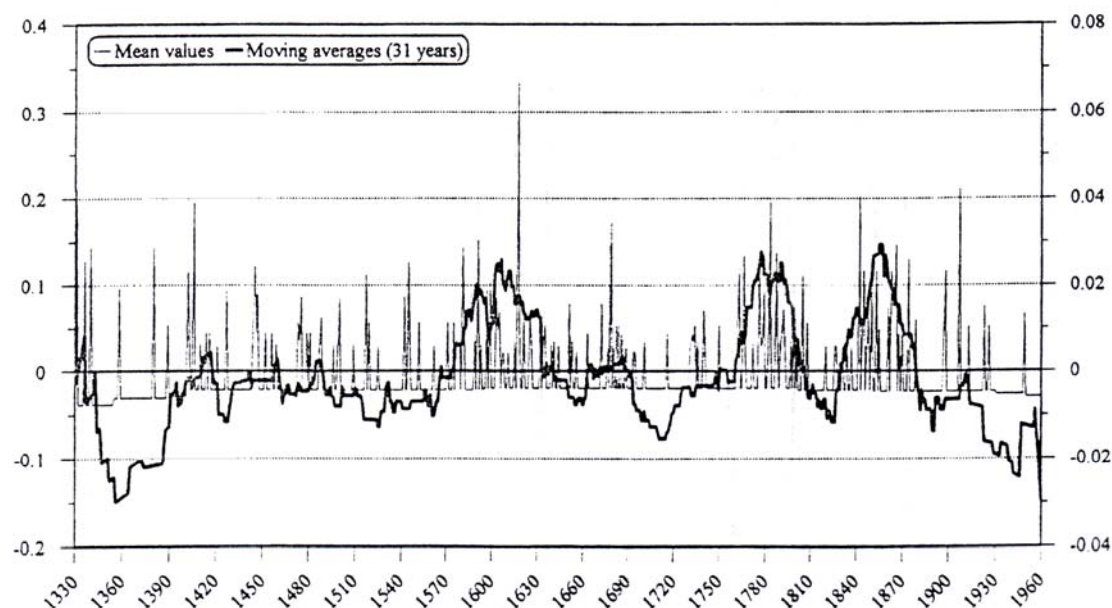
Respecto a los periodos anómalos de alta frecuencia de avenidas, cabe señalar que las series presentan oscilaciones muy características y bien definidas en todas las cuencas.

En general puede decirse que el total de inundaciones en la mitad sur Peninsular (excluyendo las cuencas sur andaluzas y a las del río Guadalquivir, no analizadas aquí) presentan unos marcados aumentos de inundaciones en los tránsitos de los siglos XVII-XVIII, y XIX-XX, con un significativo inciso seco entre ambos. Otra posible etapa húmeda que se observa desde mediados de 1500 a mediados de 1600, queda más diluida entre el conjunto de las cuencas, lo cual no quiere decir que no se presente de forma individual en cada una de ellas pero con mayores desfases, lo que produce mayor ruido en los gráficos. En el siglo XX, los resultados tampoco son tan claros aunque si se apunta un pico de avenidas hacia 1940, si bien no tan prominente como el del final del XIX. Los resultados son difíciles de definir en los años recientes por el empleo de la media móvil de 30 años.

Dentro de estas tres oscilaciones, si realizamos la comparación entre vertientes, observamos que las inundaciones en las cuencas atlánticas Guadiana y Tajo presentan mayor paralelismo entre sí que las del Júcar y Segura, que aunque coinciden básicamente en sus picos, lo hacen con un cierto desfase.

En la vertiente Atlántica, las tres oscilaciones húmedas dominantes están bastante bien representadas aquí en ambas cuencas, aunque presentan retardos entre ellas. Los periodos húmedos serían 1550-1650, 1750-1810 y 1870-1920, a los que habría que sumar otro más reciente a partir de 1940. Estos picos coinciden con los señalados para los ríos Guadiana y Tajo por Ortega y Garzón (1997) y Benito et al (2003) respectivamente, aunque estos últimos autores subdividen algunas de estas fases en otras separadas por pequeños intervalos secos.

Respecto a la vertiente mediterránea, los grandes picos de avenidas del Júcar (1580-1640, 1680-1720, 1760-1810, 1850-1870), ligeramente más adelantados que en el Segura, se asocian mejor con las tres oscilaciones de similar intensidad y duración definidas por *Barriendos y Martín Vide* (1998) para la costa mediterránea (1570-1630, 1760-1800 y 1830-1870) -Figura 4.7-, aunque dichos resultados deberían considerarse más válidos para la costa mediterránea septentrional, que es la que aporta la mayor parte de los datos en su trabajo.



**Figura 4.7** – Gráfico de anomalías positivas de inundaciones. Media móvil de 31 años de la serie de inundaciones históricas registradas en las cuencas mediterráneas, según *Barriendos Vallve y Martín Vide (1998)*.

En este sentido hay que señalar que, aunque estos autores incluyen en sus análisis también el río Segura, le dan mucho menos peso a este río (con 25 avenidas) al incluir en el análisis varios ríos catalanes (con 130 inundaciones). Por tanto consideramos que sus resultados son más válidos para la costa mediterránea Norte que para todo Levante. Si comparamos, por tanto, este otro estudio con nuestros resultados del Júcar, parece que aunque los picos coinciden básicamente, se presenta un cierto retardo si se analizan solo las avenidas del Júcar, cuyos picos irían algo más retrasados que las mediterráneas septentrionales. El Segura, aunque con picos equivalentes, parece que sigue una dinámica más independiente y propia.

Este retraso de los picos de inundaciones del Júcar que encontramos sobre los definidos por *Barriendos y Martín Vide (op. cit.)* se deduce también de los datos presentados para el Júcar por *Martínez y Garzón (1996)*. Estos autores señalaban la relevancia del incremento de las avenidas del Júcar durante el siglo XIX, especialmente en su segunda mitad coincidiendo también con el aumento de su magnitud, y relacionándolas con el final de la Pequeña Edad del Hielo.

*Barriendos (1997a)* también señala un incremento moderado de las precipitaciones para el “Late Maunder Minimun” (1675-1715) pero no tan marcado como el de las otras tres oscilaciones. *Barriendos y Martín Vide (1998)* para el área mediterránea definen también otra etapa previa medieval (1390-1415), sin embargo, consideran difícil establecer si las avenidas son aleatorias o responden a factores complejos. *Llasat et al (2003)* obtienen siete anomalías con incremento de avenidas para Cataluña, a partir de la desviación standard normalizada sobre las series

---

suavizadas con un filtro Gausiano de 30 años. Entre ellas destaca especialmente la anomalía Malda (1760-1800) que supone una alta irregularidad interanual con una frecuencia anómala de sequías e inundaciones y extremos muy diferenciados, acentuando las características del clima mediterráneo

Respeto a las relaciones relativas entre ambas vertientes, *Ortega y Garzón, (1997)* señalaban un desfase entre los picos de inundación del Guadiana con respecto al Júcar pues en esta última cuenca los picos de inundaciones se producían con un cierto adelanto. Este hecho, según nuestras conclusiones anteriores sería extensible a toda la vertiente atlántica, por la buena relación que guarda el Tajo con el Guadiana. Sin embargo, esta relación no se expresa tan claramente al considerar las dos cuencas mediterráneas estudiadas, puesto que como hemos comentado antes, el Segura muestra un comportamiento un tanto dispar respecto al Júcar.

Los picos de inundaciones del Segura presentan más dificultad en su interpretación. Es cierto que el número y posición de los picos se corresponde, a grandes rasgos, con los picos generales establecidos para el Júcar y las otras cuencas, pero no son tan coincidentes como los anteriores. De hecho, podría interpretarse bien como picos adelantados a los del Júcar, o como coincidentes con momentos de sequía en esta otra cuenca.

*Molina et al. (1994)* consideran también tres períodos de ocurrencia preferente para las avenidas del Segura, coincidiendo más o menos con los tránsitos entre los siglos XVII-XVIII, XVIII-XIX y XIX-XX, que como se observa muestran el mismo desfase referido por nosotros con respecto a los referidos por *Barriendos y Martín Vide (1998)* para el litoral mediterráneo en general.

La interpretación de esta falta de concordancia entre las inundaciones del Júcar y del Segura, podría achacarse a la posición relativa de las bajas presiones otoñales sobre el Mediterráneo. La posición más septentrional favorecería que el grueso de avenidas se produzca en Levante Central, mientras que una posición más meridional afectaría más al SE, esto es, si tenemos en cuenta que la mayoría de precipitaciones que determinan estos cambios son las correspondientes a las borrascas mediterráneas otoñales. Pero hay otras situaciones atmosféricas que también producen avenidas en el SE, unas son las borrascas del Golfo de Cádiz, que controlan el litoral mediterráneo andaluz y el SE, además de afectar a Extremadura. La otra situación que sería más característica de las avenidas primaverales serían las vaguadas polares centradas sobre la Península, y que pueden llegar a afectar al sureste.

Sería interesante poder precisar más entre los diferentes tipos de avenidas en el Segura, para concretar en sus mecanismos causales. En cualquier caso, su falta de correlación con las avenidas del Júcar quedaría justificada.

Tanto se trate del caso del desplazamiento hacia el sur de las borrascas otoñales mediterráneas, o del descenso de la influencia del Golfo de Cádiz, las lluvias afectarían fundamentalmente al SE y, por tanto, no tendría correspondencia buena con el Júcar. Solo las inundaciones ocasionadas por las vaguadas polares en circulación N-S afectarían simultáneamente al Levante y al SE, o bien situaciones intermedias. En el caso de tratarse de las lluvias ocasionadas por las depresiones del Golfo de Cádiz, que también pudieran afectar a Extremadura, podría entenderse la cierta influencia señalada de la estación de Ciudad Real

#### 4.7.3. RELACION ENTRE LAS INUNDACIONES Y LA PRECIPITACIÓN

A partir del análisis gráfico, pueden establecerse unas pautas de estacionalidad de las avenidas. Esta distribución es aún más marcada para la cuencas mediterráneas y en especial en la del Júcar, donde la mayoría de las avenidas ocurren entre Septiembre y Noviembre. En el Segura, aunque también son muy significativas las avenidas otoñales, cobran gran importancia las primaverales. *Molina et al. (1994)* en la cuenca del Segura también determinan que aunque el grueso de avenidas son otoñales, también hay un pico entre Febrero y Abril, formado sobre todo por avenidas de magnitud baja a media, aunque no se excluye alguna de carácter extraordinario.

En la vertiente atlántica los ríos ofrecen dos poblaciones más diferenciadas, las otoñales y las invernales-primaverales. En el Tajo ambas poblaciones son significativas, más incluso las invernales-primaverales y las del Guadiana se producen sobre todo en los meses invernales.

Tanto los análisis gráficos como los estadísticos demuestran que las inundaciones en las cuencas atlánticas están controladas por la precipitación invernal casi indistintamente de cualquiera que sea la estación considerada. Por el contrario las cuencas mediterráneas están mejor definidas por la precipitación otoñal de Murcia, Valencia y Alicante, excepto el Segura donde no tenemos otra estación mediterránea que resulte significativa, salvo la de Murcia.

Las cuenca atlánticas presentan buena correlación entre sí y con las estaciones pluviométricas de su vertiente, especialmente con las lluvias invernales. Aún así el Guadiana queda suficientemente representado por las lluvias invernales de Badajoz.

La cuenca del Tajo muestra más heterogeneidad en sus influencias, aunque hay que tener en cuenta que las inundaciones estudiadas representan solo las de la cuenca alta-media. Se presentan como estaciones más representativas las de Madrid o Toledo, junto con las de C. Real Invierno y Albacete inversa, pero también aparece como representativa C. Real del Otoño antecedente.

Las avenidas del Júcar se correlacionan mejor con las lluvias de Valencia y las del Segura con las lluvias de Murcia, tanto anuales como otoñales, pero también presentan una cierta influencia inversa de Albacete (que marca una cierta interconexión con la vertiente Atlántica y que puede justificar así mismo la mayor complejidad de las avenidas de esta cuenca).

Las inundaciones del Júcar no ofrecen buena correlación con las del Segura y esto puede achacarse a que las del Júcar son básicamente otoñales y en cambio en el Segura hay también una población importante de lluvias primaverales o tardi-invernales

La estación de Albacete presenta unas características peculiares, pues tiene una relación inversa tanto con la cuenca del Tajo como con la del Segura, con un sentido no muy fácil de explicar, salvo que cuando se producen lluvias fuertes en cualquiera de la cuencas, Albacete responde con sequía.

Por último, el hecho de que las precipitaciones antecedentes no resulten relevantes, constituye una conclusión importante en si misma, pues indica que las avenidas están ocasionadas por precipitaciones abruptas puntuales, más que por largos periodos húmedos y esto se relaciona bien a su vez con lo que se veía sobre la influencia de periodos secos y húmedos en la génesis de avenidas.

#### 4.7.4. RELACION ENTRE LAS INUNDACIONES Y CICLOS SECOS\_HÚMEDOS

Las diferencias entre períodos secos y húmedos de ambas vertientes, aunque aparentemente presentan gran contraste entre sí, realmente representan períodos de humedad-sequía bastante generalizados en la mitad sur peninsular. Después de una sequía importante a mediados de 1800 comienza otra gran etapa húmeda hasta la primera década de 1900. El siglo XX presenta más homogeneidad, pero aún así pueden considerarse períodos húmedos coincidentes en términos generales en todas las cuencas, las décadas de 1940, 1970 y la de 1990. Dentro de estas pautas se presentan desfases, siendo las del Mediterráneo más tardías que las del Atlántico, lo que confirma lo que veíamos en el apartado de inundaciones. Esto implica que podemos hablar de ciclos húmedos generalizados, aunque realmente no coinciden dentro de ellos los picos de máxima precipitación, sino que se va produciendo un relevo en el tiempo entre las diferentes zonas.

En este sentido, cabe destacar además que los extremos secos-húmedos son mucho más exagerados en la vertiente mediterránea.

Si comparamos estos ciclos secos-húmedos con la génesis de avenidas, sorprendentemente las avenidas no se producen coincidiendo con los momentos álgidos de humedad, sino al contrario, está más en relación con los vértices secos, y más bien con el final de la etapa seca y el comienzo de la húmeda.

Cabe destacar además que este tránsito hacia condiciones más húmedas se da de forma más abrupta que el paso hacia una etapa seca. Esto puede indicar unas condiciones climáticas que generan lluvias de alta intensidad al final de la etapa de sequía, lo que podría ser un condicionante en la generación de inundaciones.

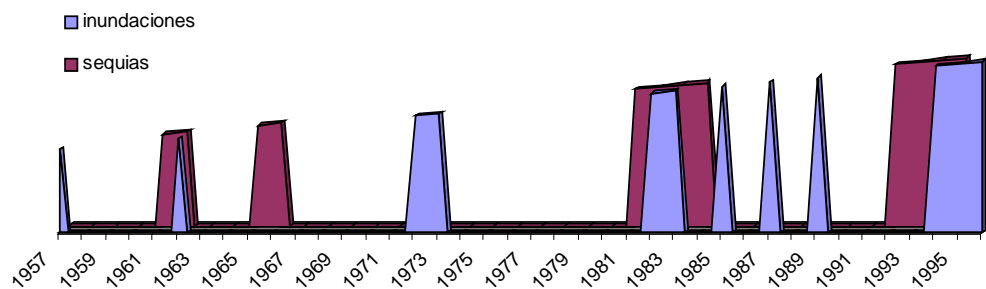
La cuenca del Segura no muestra estas relaciones tan claramente, confirmándose una vez más como una cuenca anómala con respecto al comportamiento de las otras cuencas estudiadas.

Otros factores que también pueden favorecer la génesis de inundaciones al final de una etapa seca serían, por un lado, la falta de funcionalidad en las condiciones de drenaje de la cuenca como pérdida de la capacidad de infiltración de los suelos, procesos de sellado, menor cobertura vegetal y abundante material preparado para el transporte rápido sin protección vegetal, movimientos en masa y sufusión y, por otro lado, la capacidad de evacuar el caudal de los cauces, que podrían haber perdido parte de su funcionalidad por revegetación del lecho ante el confinamiento de los niveles freáticos superficiales de la cuenca a las arterias fluviales, y la falta de avenidas ordinarias que hace que se mantenga una sección del cauce eficiente.

Otro factor importante puede ser el tipo de precipitación, que hace que después de un periodo de sequía se manifieste lluvias más violentas.

Otros autores han observado la relación existente entre la ocurrencia de inundaciones y ciertos periodos generalizados de sequía en la Península Ibérica (*Olcina Cantos, 1994*). Según estos estudios, los periodos de sequía relacionados con inundaciones se registran en los años 1962-64, 1982-86 1993-98 (*Gráfico 4.32*). En nuestro estudio, se han observado algunos periodos similares de bajas precipitaciones que coinciden con ocurrencia de inundaciones, en el Guadiana y en el Tajo estos periodos son entre 1964 y 1970 y entre 1980 y 1985). En el Júcar y Segura solo se observa uno de estos periodos, entre 1982 y 1985.





**Gráfico 4.32-** Comparación de períodos de sequía e inundaciones en la Península Ibérica entre los años 1957 y 1996 (según datos de *Olcina Cantos, 1994*).

#### 4.7.5. CORRELACIÓN ENTRE LAS INUNDACIONES Y LAS PRECIPITACIONES

Los resultados de la aplicación de las correlaciones estadísticas de las precipitaciones y las inundaciones permiten afinar mejor las observaciones realizadas en los apartados anteriores y señalar algunos nuevos aspectos significativos.

En primer lugar, el método de correlación de Spearman (*Tabla 4.3*) confirma la buena correlación entre las precipitaciones de las estaciones atlánticas entre sí por un lado, y de las mediterráneas por otro lado. Solo la lluvia de la estación de Albacete, muestra una buena correlación con ambas vertientes, reafirmando el carácter híbrido que se había apuntado anteriormente.

En cambio, respecto a las inundaciones, la correlación es muy buena entre las cuencas atlánticas, pero no así entre las mediterráneas en que el coeficiente de correlación de Spearman señala valores no significativos. Esto confirma las relaciones deducidas previamente a partir de la interpretación de los gráficos.

Por otra parte, según el método Chy<sup>2</sup>, se obtenía que las inundaciones de todas las cuencas son independientes excepto las de la vertiente atlántica entre sí, por un lado, y las de la vertiente mediterránea por otro.

Esta mejor correlación entre las avenidas de la vertiente atlántica se evidencia también a la hora de comparar las inundaciones con las precipitaciones por los diversos métodos estadísticos (*Tabla 4.14*).

Las inundaciones de los ríos Atlánticos (Tajo y Guadiana) se correlacionan bien con las lluvias de Madrid, Toledo, Ciudad Real y Badajoz, tanto anuales como invernales, especialmente con estas últimas. Pero en cambio, a estos efectos, es mala su relación con las precipitaciones otoñales, por lo que puede deducirse que las que realmente son significativas en el análisis son las invernales.

CUENCAS	PRECIPITACIÓN		Spearman (>0.3)	ANOVA (<0.05)	Regresión Logística (Pr-ChiSq <0.05)	Nº de pruebas con resultados positivos
TAJO	Badajoz	Anual	0.30	0.045		2
		Invierno	0.33	0.002		2
	C. Real	Anual	0.35	0.003		2
		Invierno	0.46	0	0.0052-0.0063	3
		Otoño anteced.			0.0942	1
	Madrid	Anual	0.31	0.007	0.0219	3
		Invierno	0.41	0		2
	Toledo	Anual	0.41	0.004	0.0023	3
GUADIANA	Badajoz	Anual	0.29	0.034		2
		Invierno	0.30	0.023	0.0002	3
	C. Real	Anual	0.28	0.041	0.0313	3
		Invierno	0.31	0		2
	Madrid	Anual	0.30	0.014		2
		Invierno	0.32	0.005		2
		Otoño			0.0086	1
	Toledo	Anual	0.31			1
JÚCAR	Valencia	Anual		0.038	0.0162	2
		Otoño	0.29	0		2
	Alicante	Anual		0.030		1
		Otoño	0.29	0		2
	Murcia	Anual	0.34	0.019	0.1123	3
		Otoño	0.29	0.021		2
	Murcia	Anual	0.39	0.002	0.0320	3
		Otoño	0.39	0	0.0078	3
SEGURA	Ciudad Real	Otoño		0.032		1
	Albacete	Anual			0.0081	1
	Toledo	Anual		0.021		1

**Tabla 4.14** – Comparación de los resultados obtenidos, según los distintos métodos estadísticos, que indican las relaciones entre las inundaciones de las cuatro cuencas y las precipitaciones de las distintas estaciones.

Las inundaciones de la vertiente mediterránea, por el contrario guardan menos correlación en general con las precipitaciones. El Segura aparece solo bien correlacionado con la estación de Murcia, tanto en las lluvias anuales como otoñales, sin que se aprecie la influencia de otras estaciones mediterráneas. Pero curiosamente sin embargo, lo que si aparece es una cierta relación con las precipitaciones de Ciudad Real concretamente las otoñales. El Júcar se correlaciona también con Murcia, tanto en las lluvias anuales como otoñales, y además se correlaciona bien con las de Valencia y algo peor con las de Alicante. En estas dos últimas estaciones no es especialmente evidente la separación entre las lluvias otoñales y las anuales, aunque dominan las otoñales.

En resumen, puede considerarse que las inundaciones en las cuencas atlánticas están controladas por la precipitación invernal casi indistintamente de cualquiera que sea la estación considerada. Por el contrario las cuencas mediterráneas están mejor definidas por la precipitación otoñal de Murcia, aunque con mala correlación entre las avenidas de la cuenca del Júcar y las del Segura. Así, mientras que el Júcar tiene a su vez influencia de las lluvias otoñales de Valencia y Alicante, en el Segura no tenemos otra estación mediterránea que resulte significativa, salvo la de Murcia. En cambio se insinúa ligeramente la influencia de las lluvias otoñales de C. Real sobre esta cuenca del Segura.

La confirmación y el mejor conocimiento de estos patrones de control de las inundaciones por la precipitación en las diferentes estaciones podría ser interesante para la caracterización e incluso predicción de unos umbrales de precipitación por encima de los cuales sean de esperar la ocurrencia de crecidas. En este sentido, se ha realizado una aproximación a través del método de regresión logística que permite establecer un modelo predictivo basado en las relaciones entre la ocurrencia de inundaciones en cada cuenca y la precipitación de determinadas estaciones. El buen ajuste obtenido en estos modelos permite deducir relaciones fiables entre las variables consideradas.

En este análisis se han considerado también las inundaciones antecedentes (*Tabla 4.14*), concretamente las del otoño anterior, considerando que pueden influir en el año siguiente, especialmente en las inundaciones de ese invierno. Sin embargo, estas precipitaciones antecedentes, no han demostrado excesivo peso en los resultados, exceptuando en el caso de la cuenca del Tajo que se ve influenciada por la precipitación del Otoño antecedente de Ciudad Real.

El hecho de que las precipitaciones antecedentes no resulten relevantes, constituye una conclusión importante en si misma, pues indica que las avenidas están ocasionadas por precipitaciones abruptas puntuales, más que por largos periodos húmedos, y esto se relaciona bien a su vez con lo que se veía sobre la influencia de periodos secos y húmedos en la génesis de avenidas. En relación con esto se puede reseñar la observación de *Daveau et al. (1978)* en el sentido de que la inundación del Duero de 1978 se produjera sin importantes precipitaciones antecedentes en la cuenca.

En conclusión, en los modelos de regresión seleccionados (*Tabla 4.9*) las inundaciones del Guadiana quedan bien caracterizadas exclusivamente a partir de las precipitaciones de Badajoz invierno. Las del Segura quedan definidas con Murcia Otoño y Anual, como se había visto anteriormente, pero se incorpora además Albacete Anual, aunque aquí con carácter negativo, lo cual implica una relación inversa, esto es, escasez de precipitación en esta estación. Por otra parte la cuenca del Júcar quedaría suficientemente bien representada con las lluvias anuales de

---

Valencia, pero si queremos reflejar otros controles regionales más amplios introduciremos además Murcia Otoño.

Las relaciones en la cuenca del Tajo son más complejas. La cuenca del Tajo muestra más heterogeneidad en sus influencias, aunque hay que tener en cuenta aquí que las inundaciones que se han tratado, no son las de toda la cuenca, sino las de la zona alta-media. Además la cuenca media del Tajo tiene menor peso en la reseña total de avenidas por la ausencia de poblaciones importante y las propias características de los cauces.

Este estudio de regresión para la cuenca del Tajo muestra resultados peculiares. Se presentan como estaciones más representativas las de Madrid o Toledo (según utilicemos o no esta última estación que tiene una serie de registro más corta, pero que describe mejor estas inundaciones), junto con las de Ciudad Real Invierno y Albacete (con relación inversa). También aparece como representativa Ciudad Real del Otoño antecedente, lo cual es bastante aceptable pues complementa la información de precipitación de Ciudad Real Invierno, ya que estamos hablando de avenidas que son ante todo invernales, esto es, ocurren a principios del año. Por tanto, parecería que un otoño lluvioso en Ciudad Real (precipitaciones antecedentes del otoño anterior), seguido de lluvias invernales, sería propicio para avenidas en el medio y alto Tajo.

El caso de Albacete es aún más complejo, por su relación inversa con las avenidas del Tajo, pero del propio año, o sea, que si hay lluvias y por tanto avenidas invernales, esto es a principios de año, parece seguir una posterior sequía en Albacete. Sorprende, por otro lado, que la relación entre C. Real y Albacete sea inversa, es decir, que a un invierno húmedo en Ciudad Real le siga un año seco en Albacete.

Extrañamente también se presenta la precipitación de Valencia de otoño antecedente, aunque con carácter negativo. Esto es también difícil de explicar, aunque podría significar que tras un otoño seco en Levante, hay más posibilidades de que produzcan lluvias en la vertiente atlántica.

## 5. MARCO GEOMORFOLÓGICO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBCUENCAS TIPO SELECCIONADAS

### 5.1. ENCUADRE GENERAL

Una vez descritas las relaciones entre las series históricas de precipitaciones e inundaciones en las cuatro cuencas, se va a analizar con más detalle el funcionamiento hidrológico de una serie de subcuencas del Tajo y del Guadiana considerando no solo los datos de precipitación y caudal, si no también los parámetros geomorfológicos que pueden influir en la generación de caudales de avenida.

Para ello se han seleccionado 26 subcuencas, once pertenecientes a la cuenca alta del Guadiana y quince a la cuenca alta del Tajo. Al seleccionar estas subcuencas se ha procurado escoger características bien diferenciadas en cuanto a extensión, relieve, distribución de litologías, red de drenaje, régimen de caudales, etc., con el fin de utilizarlas como cuencas tipo para el estudio de correlación y regresión múltiple y para el estudio de comparación de caudales estimados por distintos métodos. Por ello, la selección de estas subcuencas se ha realizado principalmente por la disponibilidad de datos de aforo y estaciones meteorológicas, además de la ocurrencia de inundaciones.

Las subcuencas varían entre áreas grandes (más de 500 Km<sup>2</sup>), de tamaño medio (entre 100 y 500 Km<sup>2</sup>) y pequeñas cuencas (menos de 100 Km<sup>2</sup>), con pendientes que oscilan entre 3.69 y 34.5 m/Km, longitudes del cauce principal entre 9 y 159 Km y densidades de drenaje entre 0.03 y 1.5 Km/ Km<sup>2</sup>. Estas subcuencas, al presentar características bien diferenciadas entre ellas, permiten comparar sus diferentes respuestas frente a las inundaciones y determinar que características son las que tienen más influencia en la generación de caudales extremos de avenida. En este capítulo se describen las características de cada subcuenca que intervendrán en los posteriores análisis hidrológicos y estadísticos.

Considerando su marco general, las cuencas del Tajo y Guadiana se extienden ambas paralelas a lo largo de depresiones terciarias en dirección E-W, desde su cabecera, casi conjunta, en la Cordillera Ibérica y estribaciones orientales de la Llanura Manchega, más al sur. Sus características morfológicas son, sin embargo, muy diferentes, debido a la idiosincrasia de los dos colectores principales.

El Tajo es un río que discurre encajado en su cuenca, con un sistema de terrazas bien desarrollado y una red de drenaje bien jerarquizada, aunque muestra una significativa

asimetría, solo con pequeños afluentes en su margen meridional mientras los grandes tributarios del Norte le nutren regularmente de los aportes del Sistema Central. Las llanuras de inundación de sus grandes ríos, bien desarrolladas, contienen las avenidas periódicas originadas por los frentes invernales que avanzan río arriba desde el Atlántico. Esto es lo que ocurre en Aranjuez que tiene uno de los mejores registros de avenidas peninsulares, favorecidas además por la confluencia del Jarama con el Tajo (*Foto 5.1*) inmediatamente aguas abajo de la población. Pero no todas las avenidas son de este tipo en la cuenca, sus características de continentalidad favorecen también las tormentas convectivas estivales en pequeños cauces apenas considerados como los del Mar de Ontígola en el propio Aranjuez (*Foto 5.2*) y más recientemente los que originaron las catástrofes con coste de vidas humanas de las poblaciones de Yebra y Almoguera en Julio de 1995 (*Foto 5.3 y Foto 5.4*).



**Foto 5.1** – El río Tajo en los Jardines de Aranjuez, una de las zonas con mayor registro de avenidas de la cuenca del Tajo



**Foto 5.2** – El Mar de Ontígola, una pequeña laguna artificial en un arroyo lateral del Tajo en Aranjuez y responsable también de alguna de las inundaciones de dicha población.



**Foto 5.3** – Desviación del arroyo Barbales en la población de Yebra (Guadalajara), donde se originó la catastrófica avenida de 1995.



**Foto 5.4** – Arroyo de la Vega en Almoquera (Guadalajara), que retomó su curso antiguo por el centro del pueblo, ocasionando numerosas víctimas en la tormenta de 1995.

Las cuencas del alto Tajo presentan unas características diferenciadas. Los ríos de cabecera que discurren hacia el Oeste desde su nacimiento en la Cordillera Ibérica, se encuentran con la infranqueable barrera de la Sierra de Altomira que los bloquea de Norte a Sur. Solo el Tajo es capaz de salvar el umbral montañoso, recorriéndolo paralelo a él por su zona interior y capturando a lo largo de su recorrido la cuenca superior (*Foto 5.5 y Foto 5.6*).

La cuenca del Guadiana, aunque también con dirección E-W no solo no presenta cabeceras controladas por importantes relieves, sino que además el umbral montañoso que representan los Montes de Toledo, sin permitir el encajamiento del Guadiana, dejan colgada la Llanura



Manchega, con unos cauces sin apenas pendiente y mal definidos, sobre todo en la zona central. La cabecera natural de la cuenca del Guadiana, hacia el Este, se pierde en el corredor del Záncara, sin divisoria definida con el Júcar. Los cursos mejor definidos bajan desde el Norte, de la cubeta del Alto Tajo, con direcciones paralelas, como el Riánsares y Cigüela y el propio Záncara, perdiendo significancia sus valles al adentrarse en la Llanura. Los afluentes provenientes del Sureste se nutren del macizo de Campos de Montiel, pero la cabecera también es pequeña, pues el drenaje enseguida es capturado por la cuenca del Guadalquivir.



**Foto 5.5-** El río Tajo en el embalse de Entrepeñas sobre la Sierra de Altomira, donde se encaja longitudinalmente recogiendo todos los ríos del Alto Tajo



**Foto 5.6 -** El valle del Tajo, ya bien desarrollado con sus terrazas, a la salida de la Sierra de Altomira, en Almonacid de Zorita



En estas condiciones los cauces de la cuenca Alta del Guadiana adolecen de cauces poco eficientes para los momentos de crecida, problema que se ha visto agravado por los intensos cambios de uso del suelo a los que se ha visto sometido el territorio. (*Foto 5.7 y Foto 5.8*)



**Foto 5.7** - Nacimiento del río Riánsares en las estribaciones de la Sierra de Altomira, con divisoria mal definida con el río Tajo.



**Foto 5.8** - río Riánsares a su paso por Corral de Almaguer. Foto tomada en enero de 1997, pocos días después de producirse el desbordamiento que afectó a dicha población. Representa el típico río de la llanura manchega con cauce poco definido y escasa pendiente

En síntesis, podemos establecer una serie de diferencias claras entre las cuencas seleccionadas. Dentro de las cuencas del Guadiana, tenemos las cuencas de los ríos Azuer, Zúncara, Cigüela y Jabalón con áreas de gran tamaño, y las de los ríos Bañuelos, Becea, Córcoles y Amarguillo con áreas pequeñas. Casi todas tienen morfologías elongadas en sentido Oeste, que define su colector, el río Guadiana, o bien provenientes del NE o SW según sean afluentes de la margen derecha o izquierda, y todas ellas abiertas por tanto a los flujos atlánticos. Solo algunas de las cuencas alimentadas por los Montes de Toledo presentan una dirección contrapuesta, como la del río Amarguillo, y estas cuencas se caracterizan precisamente por sus importantes eventos convectivos que determinan las avenidas estivales.

Las diferencias entre estas subcuencas del Guadiana vienen dadas fundamentalmente por el relieve y las litologías predominantes. Así, en las cuencas situadas al pie de las cadenas montañosas, las litologías paleozoicas y triásicas más impermeables ocupan una mayor extensión y confieren un mayor relieve a la cuenca. Las cuencas mayores, Cigüela y Zúncara, por su carácter longitudinal y extensión, tienen una gran variabilidad en sus características, y altos tiempos de concentración. Las cuencas centrales desarrolladas sobre la Llanura Manchega, como el Azuer y el Córcoles, son cuencas con muy escaso relieve y litologías, con materiales terciarios, pliocuaternarios y cuaternarios, más permeables en general.

Entre las subcuencas del Tajo se pueden diferenciar las grandes cuencas, como el Jarama, Henares, Tajuña y Manzanares, que son más heterogéneas y difíciles de considerar en conjunto. Las subcuencas del Tajo tienen en su mayoría morfologías menos elongadas y mayores pendientes que las del Guadiana, lo que disminuye su tiempo de concentración, esto se aprecia sobre todo en las pequeñas subcuencas.

## 5.2. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LAS SUBCUENCAS

En cada una de las 31 subcuencas seleccionadas se han medido una serie de parámetros morfológicos, geométricos y de relieve. Las fuentes cartográficas utilizadas para estas medidas han sido los mapas topográficos en formato digital y papel (*IGN, 1998 y 1988*), cartografía digital de la red de drenaje (*IGN, 1998*), cubierta forestal (*ICONA, 2003*), mapas de cultivos y aprovechamiento (*MAPA, 1979-85*), cartografía geológica (*ITGE 1971 y 1972; IGME, 2002*), y el Modelo Digital del Terreno (*IGN, 1997*), a escalas 1:50000 y 1:200000. Aunque sería deseable la utilización de escalas mayores para este tipo de medidas, dado el gran volumen de información a analizar se ha optado por escalas de menor detalle y la cartografía digital. No obstante, para contrastar la validez de los datos de partida se realizaron medidas de los parámetros a escala más detallada en algunas de las cuencas de menor tamaño, comprobando que los resultados obtenidos no eran muy diferentes. Los parámetros medidos son los siguientes:

*Geometría de la cuenca:*

- Área de la cuenca
- Longitud de la cuenca
- Forma de la cuenca (índice de elongación)

*Geometría y jerarquización de la red de drenaje:*

- Longitud del cauce principal
- Densidad de cauces
- Densidad de drenaje
- Orden del cauce principal
- Índice medio de bifurcación de cauces

*Parámetros de relieve de la cuenca y red de drenaje*

- Amplitud de relieve
- Relación de relieve
- Pendiente media del cauce principal

*Otros parámetros morfológicos:*

- Tiempo de concentración de la cuenca
- Permeabilidad de la cuenca
- Umbral de escorrentía (Po)

A continuación se especifica el significado de cada parámetro y la forma de obtenerlo.

**ÁREA DE LA CUENCA ( $Km^2$ )**

El área de la cuenca es la superficie comprendida dentro de la línea divisoria de aguas o límite hidrográfico de la cuenca. El área de las cuencas vertientes se ha medido en  $Km^2$ , sobre la base de su información topográfica.

**LONGITUD DE LA CUENCA ( $Km$ )**

La longitud máxima de la cuenca se puede considerar como la longitud en Km. del eje máximo del elipsoide que contiene la cuenca. Su significado físico es la distancia entre la desembocadura de la cuenca y el punto más alejado de su divisoria (Schumm, 1956)

### **FORMA DE LA CUENCA (ÍNDICE DE ELONGACIÓN)**

Existen diversos índices y parámetros que determinan la forma de la cuenca como son el índice de compacidad (*Gravelius, 1914*), la razón de elongación (*Schumm, 1956 y 1977*), la razón de circularidad (*Miller, 1953*) o el factor de forma (*Horton, 1932*). En este trabajo se ha seleccionado la razón o índice de elongación (*Schumm, 1956*) para definir la forma de la cuenca, que según autores como *Morisawa (1958)* es uno de los más significativos para caracterizar hidrológicamente la cuenca (*Jiménez Sánchez, 1994*). El índice de elongación se define como la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la longitud de la misma. Por tanto, cuanto más cercana a 1 sea esta relación, mayor circularidad tendrá la cuenca, e irá disminuyendo a medida que la elongación de la cuenca aumente.

La expresión de este índice o razón de elongación ( $Re$ ) es  $Re=D/Lc$

donde:

$D$  es el diámetro del círculo de superficie igual al área de la cuenca medida en  $Km^2$ . Viene

definido por  $D=2R$ , siendo  $R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ , donde  $R$  es el radio del círculo y  $S$  es la superficie del

círculo o el área de la cuenca en  $Km^2$

$Lc$  es la longitud máxima de la cuenca en  $Km$ ., o eje máximo del elipsoide que contiene la cuenca.

### **LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)**

En este caso se ha considerado la longitud máxima recorrida por el cauce principal, desde su nacimiento hasta la desembocadura de la cuenca, medida en  $Km$ .

### **DENSIDAD DE CAUCES ( $Nc/Km$ )**

La densidad de cauces define la densidad de la red hidrográfica a partir de la relación:  $Dc = Nc/L$

donde:

$Dc$  es la densidad de cauces

$Nc$  es el número de cauces, principal y afluentes, de la red hidrográfica

$L$  es la longitud del cauce principal en  $Km$

Este parámetro está basado en el índice de frecuencia de cauces de *Horton (1932)* que considera la suma total del número de cauces en relación a la superficie de la cuenca. El significado físico de la densidad de cauces aquí calculada y el índice de frecuencia de cauces de Horton es similar, pero para este estudio se ha considerado adecuado medir la longitud del cauce en vez

del área de la cuenca, de esta forma obtenemos, por un lado, la densidad respecto a la red hidrográfica de forma aislada y, por otro lado, la densidad respecto a la cuenca a través del cálculo de la densidad de drenaje, que se especifica a continuación.

#### **DENSIDAD DE DRENAJE (Km/ Km<sup>2</sup>)**

Representa la densidad de la red de drenaje con relación a la superficie de la cuenca vertiente

(Horton, 1932 y 1945). Se expresa mediante la relación  $Dd = \frac{\sum Li}{S}$

donde:

$Dd$  es la densidad de drenaje en Km/Km<sup>2</sup>

$\sum Li$  es la suma de las longitudes en Km. de todos los cauces de la cuenca, principal y afluentes

$S$  es el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

#### **ORDEN DEL CAUCE PRINCIPAL**

Para determinar el orden del cauce principal se ha seguido la clasificación de *Strahler* (1952 y 1964), según la cual los cauces afluentes van aumentando su orden según van confluyendo a cauces más cercanos al principal (Figura 7.1)



**Figura 7.1** – Orden de cauces de Strahler (Rice, 1983)

#### **ÍNDICE MEDIO DE BIFURCACIÓN DE CAUCES**

El índice de bifurcación de cauces ( $I_b$ ) se define, según la primera ley de composición de la red de drenaje de *Horton* (1945), como la relación entre el número de cauces de un orden determinado ( $C_o$ ) y el número de cauces de orden inmediatamente superior ( $C_{o+1}$ ):  $I_b = C_o / C_{o+1}$ .

En cada cuenca se obtendrán  $n$  índices de bifurcación dependiendo del número de órdenes de cauce diferenciados. Para obtener un valor único de esta relación de bifurcación en cada cuenca,

se calcula el *índice medio de bifurcación*, que será la media aritmética de los  $n$  índices de bifurcación calculados en cada cuenca. Este parámetro, junto que el orden del cauce, nos indica el grado de jerarquización de una red de drenaje, que constituye un elemento útil a la hora de describir una cuenca y es también un factor condicionante de su funcionamiento hidrológico.

#### **AMPLITUD DE RELIEVE ( $m$ )**

La amplitud de relieve se define como la elevación máxima de la cuenca o desnivel absoluto (Schumm, 1956 y 1977) y se expresa mediante la diferencia en metros entre la cota máxima de la divisoria de la cuenca y la cota mínima de la cuenca, es decir,  $A_m = \Delta C_c$

donde:

$A_m$  es la amplitud de relieve en m.

$\Delta C_c$  es la diferencia en m. entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca

#### **RELACIÓN DE RELIEVE ( $m/Km$ )**

La relación de relieve o razón de relieve (Schumm, 1956) representa la pendiente máxima de la cuenca mediante la relación entre la amplitud de relieve y la longitud de la cuenca, según la expresión  $R = A_m / L_c$

donde:

$R$  es la relación de relieve en  $m/Km$

$A_m$  es la amplitud de relieve o elevación de la cuenca en m., es la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca.

$L_c$  es la longitud máxima de la cuenca en Km., o eje máximo del elipsoide que contiene la cuenca.

#### **PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL ( $m/Km$ )**

La pendiente del cauce principal se obtiene mediante la relación  $P_c = \Delta C / L$

donde:

$P_c$  es la pendiente del cauce principal en  $m/Km$

$\Delta C$  es la diferencia de cota en metros entre el comienzo o nacimiento del cauce principal y su desembocadura.

$L$  es la longitud del cauce principal en Km.

### **TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA (horas)**

El tiempo de concentración de la cuenca ( $T_c$ ) indica las horas en que se estima que la lluvia que cae en un punto de la cabecera llegue a la salida de la cuenca transformada en caudal. Este tiempo de concentración se ha calculado en función de la longitud y la pendiente del cauce principal según la expresión propuesta por Témez (1978):  $T_c = 0,3 \cdot \frac{L^{0,76}}{J^{\frac{1}{4}}}$ , donde  $L$  es la

longitud del cauce principal en Km. y  $J$  es la pendiente del cauce principal en m/m.

Teniendo en cuenta el volumen de información cartográfica y además el tamaño de la muestra, en este caso las 31 cuencas hidrográficas, necesario para realizar el análisis estadístico, se ha asumido que alguno de estos parámetros, especialmente los órdenes de cauces y el índice de bifurcación, varían al realizar las medidas a menor escala. Para controlar el error que podría derivarse de estas diferencias de escalamiento y que afectarían a las conclusiones del análisis comparativo de las cuencas, se ha utilizado en todas las medidas la misma escala de trabajo 1:200.000, aunque se ha contrastado información con la cartografía disponible a escala 1:50000.

### **PERMEABILIDAD DE LA CUENCA**

A partir de la información geológica (IGME 1971, 1972, 2002), se han analizado las distintas litologías (*Anexo V*) y estimado la permeabilidad de cada subcuenca, midiendo la relación existente entre el porcentaje de litologías impermeables y permeables, según la porosidad eficaz media característica de cada uno de los materiales geológicos (*ver apartado 7.2.3*). A esta medida de permeabilidad de las cuencas se le ha denominado  $limper$ , de forma que, cuanto mayor es el parámetro  $limper$ , la cuenca es más impermeable, es decir, es mayor el porcentaje de materiales impermeables frente a los permeables

### **UMBRAL DE ESCORRENTÍA ( $P_o$ )**

Es un parámetro dependiente de la litología, la vegetación y las pendientes de la cuenca que nos indica la cantidad de agua de lluvia en mm. que es capaz de infiltrarse en el suelo y por encima de la cual comienza a formarse escorrentía superficial (*ver apartado 6.1.1.3*)

Los resultados de los parámetros analizados se resumen en las Tabla 5.1 y Tabla 5.2. y en los apartados siguientes se sintetizan las características de las subcuencas estudiadas.

SUBCUENCAS DEL RÍO GUADIANA

SUBCUENCAS	Relación relieve (m/Km)	Cota máxima cuenca (m)	Cota máxima cauce (m)	Cota mínima (m)	Amplitud relieve (m)	Área cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud cuenca (Km)	Longitud cauce principal (Km)	Pendiente cauce principal (m/Km)	Índice de elongación	Densidad cauces (Nc/Km)	Densidad drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Orden cauce principal	Tc (horas)	limper	Índice bifurcación	Po (mm)
Amarguillo	21,56	1117	1117	620	497	154,44	40,2	25,125	19,78	0,6	0,12	0,16	4	7,33	2,3	4,16	
Azuer-Daimiel	4,27	1018	1000	618	400	1699	93,6	100	3,82	0,5	0,26	0,21	3	28,61	2,33	5,39	47,4
Azuer-Vallehermoso	6,09	1018	1000	750	268	470	44	29	8,62	0,556	0,55	0,44	3	9,57	1,86	3,75	52,2
Bañuelos	16,05	1073	994	650	423	312	26,36	22	15,64	0,76	0,82	0,43	5	6,93	9	2,08	34,6
Becea	18,83	1035	980	760	275	123	14,6	17,5	12,57	0,86	0,4	0,446	3	6,07	9	2,6	31,5
Cigüela-Buenavista	3,75	1100	1100	620	480	3600	128	152	3,15	0,53	0,4	0,21	5	40,78	0,25	5,72	38,7
Cigüela-Quintanar	5,23	1100	1100	750	350	995	66,9	85,1	4,11	0,53	0,035	0,13	3	24,96	0,54	1	
Cigüela-Villafranca	3,8	1100	1100	700	400	3367	105,3	122,7	3,26	0,62	0,04	0,087	3	34,45	0,43	1,5	
Córcoles	9,26	1000	1000	800	200	92	21,6	20	10	0,5	0,05	0,22	1	7,01	3	cauce único	
Guadiana-Atajadero	5,16	1000	900	700	300	1107	58,1	33,7	5,93	0,65	0,03	0,03	1	11,51	5,7	cauce único	
Jabalón	3,37	1000	1000	600	400	2389	118,6	159	2,515	0,465	0,006	0,07	1	44,07	1,5	cauce único	
Záncara	5,2	1100	1100	699	401	906	77,4	91	4,41	0,44	0,3	0,26	4	25,92	0,25	6,2	40,9

**Tabla 5.1** - Parámetros morfológicos y características físicas de las subcuencas del Guadiana



**SUBCUENCAS DEL RÍO TAJO**

SUBCUENCAS	Relación relieve (m/Km)	Cota máxima cuenca (m)	Cota máxima cauce (m)	Cota mínima (m)	Amplitud relieve (m)	Área cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud cuenca (Km)	Longitud cauce principal (Km)	Pendiente cauce principal (m/Km)	Índice de elongación	Densidad cauces (Nc/Km)	Densidad drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Orden cauce principal	Tc (horas)	limper	Índice bifurcación	Po (mm)
Arroyo Vega-Alcobendas	14,286	730	720	615	115	25	8,05	9	11,7	0,7	1	0,84	3	3,71	1	3,57	35,2
Badiel	9,24	1100	1000	700	400	325,4	43,3	39,721	7,55	0,47	0,025	0,12	1	12,46	0,1	Cauce único	
Bañuelos	12,9	769	769	580	189	16,03	14,65	11,95	15,816	0,31	0,17	0,98	2	4,35	1	1	29,8
Cuervo	24,8	1700	1600	1000	700	350,8	28,2	38,05	15,77	0,75	0,05	0,16	2	10,49	1,5	1	
Escabas	19,2	1700	1500	800	900	341,7	46,9	58,515	11,963	0,44	0,02	0,17	1	15,33	1	cauce único	
Guadamejud	9,41	1200	1100	800	400	399,98	42,5	47,642	6,3	0,53	0,02	0,12	1	14,81	0,1	cauce único	
Henares-cabecera	9,32	1200	1100	800	400	1285	42,9	49,32	6,08	0,94	0,142	0,17	1	15,31	3	cauce único	
Henares-Espinillo	6,31	1200	1100	500	700	3999,3	111	151,97	3,95	0,64	0,092	0,155	4	39,08	0,54	5,2	
Jarama-Algete	15,77	2000	2000	500	1500	2598,5	95,1	128	11,72	0,6	0,055	0,132	5	27,89	2,33	2,25	
Jarama-Aranjuez	10,11	2000	2000	400	1600	3581,7	158,22	227,83	7,02	0,43	0,035	0,12	5	47,65	1,5	2,7	
Manzanares-El Pardo	48,9	2262	2262	600	1662	537	34	43,132	26,7	0,77	0,07	0,15	2	9,73	1,5	3	
Manzanares-Vaciamadrid	25,73	2262	2262	600	1662	1240	64,6	77	21,6	0,615	0,57	0,302	4	16,88	2,33	7,36	39,1
Martín Román	4,37	800	700	500	300	1295,3	68,6	65,35	3,06	0,59	0,05	0,11	2	21,6	0,43	1	
Mayor	8,6	1100	1100	800	300	419,8	35	39,93	7,5	0,66	0,05	0,12	2	12,52	0,1	1	
Paeque	11,54	854	854	600	254	34,61	22	23,5	10,81	0,3	0,47	1,5	3	7,81	0,25	4,13	35,2
Perales	26,18	1400	900	400	1000	1122,9	38	34,4	14,55	0,99	0,087	0,061	2	9,85	0,82	2	
Sorbe	34,5	2000	1900	1000	1000	439	29	47,56	18,92	0,815	0,02	0,11	1	12	2,33	cauce único	
Tajuña	5,8	1364	1254	649	715	2029	123	150	4,03	0,41	0,82	0,41	5	38,54	0,25	14,34	53,3
Trabaque	30,6	1500	1300	900	600	217,5	19,6	18,605	21,5	0,85	0,11	0,154	2	5,74	1,22	2	

**Tabla 5.2** - Parámetros morfológicos y características físicas de las subcuencas del Tajo

## 5.3. SUBCUENCAS DEL RÍO GUADIANA

### 5.3.1. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA

La subcuenca del río Cigüela (*Figura V.1-Anexo V*) tiene su cabecera en los Altos de Cabrejas (Serranía de Cuenca), al igual que la cuenca del Záncara, y discurre hasta las últimas estribaciones orientales de Montes de Toledo hasta desembocar en el río Guadiana, en las Tablas de Daimiel. Al llegar a su desembocadura (*Foto 5.9 y Foto 5.10*) el cauce principal del Cigüela se difumina en varios cauces menores. La cuenca se ha subdividido por tramos para su estudio, en este caso consideramos la cuenca prácticamente completa, hasta Buenavista, a escasos kilómetros aguas arriba de su desembocadura en el Guadiana. Más adelante, también se ha considerado la cuenca del Cigüela hasta Quintanar de la Orden (parte alta de la cuenca) y hasta Villafranca (tramos alto y medio de la cuenca).



**Foto 5.9** – Las Tablas de Daimiel alimentadas por el río Cigüela en su confluencia con el Guadiana



**Foto 5.10** – El río Cigüela en Arenas de San Juan, poco antes de su desembocadura. El río en la actualidad ha sido encajado artificialmente para favorecer el drenaje de la zona y el trasvase desde el río Tajo a las Tablas de Daimiel

La subcuenca del Cigüela hasta Buenavista, con un área de 3600 Km<sup>2</sup> es la cuenca más grande de las estudiadas aquí aunque también es una de las más homogéneas en cuanto a sus características. Presenta alturas entre 1100 m en cabecera y 620 m en la salida. La cuenca tiene un relieve muy suave solo con elevaciones importantes en cabecera, la mayoría de la cuenca presenta pendientes por debajo del 3% y su relación de relieve es de 3.75 m/Km. Su morfología es ligeramente alargada, con orientación NE-SW y un parámetro de forma de 0.53. El río Cigüela, con una longitud de 152 Km. y una pendiente muy escasa de 3.15 m/Km., presenta una red de drenaje de muy escasa densidad (0.21 Km/ Km<sup>2</sup>), y un índice medio de bifurcación de canales de 5.72. El tiempo de concentración de la cuenca es de 40.78 horas, no demasiado grande si tenemos en cuenta el extenso área de la cuenca. El mayor caudal máximo diario aforado en el río Cigüela en Buenavista es de 34.7 m<sup>3</sup>/seg, entre los años 1946 y 1995.

Las litologías más abundantes en la cuenca, sobre todo en la parte baja y central, son calizas, arcillas, yesos y arenas del Mioceno y depósitos cuaternarios fluviales y aluviales. Estos materiales presentan permeabilidades variables, desde la alta permeabilidad de las arenas, los coluviones o las terrazas, hasta la permeabilidad baja y moderada de las arcillas. En la parte NW y S de la cuenca afloran depósitos pliocuaternarios (raña) y pliocenos, con un grado de infiltración moderado. El resto de materiales corresponden a litologías impermeables paleozoicas (Silúrico, Ordovícico), mesozoicas (Triásico, Jurásico y Cretácico) y rocas plutónicas (granitos) que afloran en algunos puntos al NE y S de la cuenca, de estos materiales los que mayor extensión de afloramiento presentan son las dolomías y facies detríticas consolidadas mesozoicas, quedando las cuarcitas y pizarras paleozoicas y los granitos reducidas a pequeños afloramientos aislados en la parte sur de la cuenca.

La vegetación en esta cuenca está formada por pinos, encinas, sabino enebro, matorral, cubierta arbórea mixta, pastizal, garriga y cultivos agrícolas, estos últimos ocupan mayor extensión en el NW y en la mitad inferior de la cuenca. El umbral de esorrentía de esta cuenca es de 38.71 mm.

### 5.3.2. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA QUINTANAR DE LA ORDEN

La subcuenca del río Cigüela hasta Quintanar de la Orden (*Figura V.2-Anexo V*), tiene un área de 995 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 1100 m en cabecera y 750 m en Quintanar. La cuenca en esta parte alta es donde presenta los relieves más importantes, con pendientes por encima del 3% y una relación de relieve de 5.23 m/Km. Su morfología es alargada en dirección NE-SW, con un parámetro de forma de 0.53. El río Cigüela hasta Quintanar tiene una longitud de 85.1 Km. y una pendiente de 4.11 m/Km, y presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.13 Km/ Km<sup>2</sup>), con orientaciones de cauces afluentes NE-SW y un índice medio de bifurcación de canales

de 1. El tiempo de concentración de la cuenca es de 24.96 horas. El mayor caudal diario aforado en el río Cigüela en Quintanar de la Orden es de 23.20 m<sup>3</sup>/seg entre los años 1948 y 1995 (Foto 5.11).



**Foto 5.11** - Estación de aforos en el río Cigüela a su paso por Quintanar de la Orden, donde se registran proporcionalmente los caudales más altos procedentes de su cabecera

Las litologías más abundantes en esta parte alta de la cuenca del Cigüela son las formaciones de conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas del Paleógeno y Neógeno y las calizas, dolomías, margas y areniscas, de edad Cretácica. Los depósitos aluviales y fluviales cuaternarios, con bastante menor extensión, están formados fundamentalmente por conglomerados, gravas, arenas y limos. La mayoría de estas litologías presentan una alta permeabilidad, salvo las arcillas, limos y general los depósitos detríticos limo-arcillosos fluviales. Las litologías paleozoicas (Ordovícico) impermeables afloran escasamente en esta parte de la cuenca. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 0.54. lo que indica una permeabilidad moderada del conjunto de la cuenca.

La vegetación en esta cuenca, como ya se ha dicho, está formada fundamentalmente por pinos, encinas, sabino enebro, matorral, cubierta arbórea mixta, pastizal, garriga y cultivos agrícolas.

### 5.3.3. SUBCUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA VILLAFRANCA

La subcuenca del río Cigüela hasta Villafranca (*Figura V.3-Anexo V*), tiene un área de 3367 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 1100 m en cabecera y 700 m en Villafranca. La cuenca del Cigüela, presenta los relieves más importantes en su parte alta, y en esta parte central tiene un relieve más suave (relación de relieve de 3.8 m/Km.). Su morfología es alargada en dirección NE-SW, con un parámetro de forma de 0.62. El río Cigüela hasta Villafranca tiene una longitud de 122.7 Km, una pendiente de 3.26 m/Km. y presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.087

Km/ Km<sup>2</sup>), con un índice medio de bifurcación de canales de 1.5. El tiempo de concentración de la cuenca es de 34.45 horas. En Villafranca el río Cigüela registra caudales máximos diarios de hasta 28.65 m<sup>3</sup>/seg entre los años 1920 y 1942.

Las litologías son análogas a las descritas en el apartado anterior, pero los depósitos aluviales y fluviales cuaternarios, tienen más extensión, sobre todo en la parte central y baja de la cuenca. Lo mismo ocurre con los afloramientos Ordovícicos al SW, cerca ya de Villafranca, donde también afloran materiales detríticos, calizas y dolomías del Trías. El conjunto de la cuenca presenta una permeabilidad moderada, con una relación entre la extensión de materiales impermeables y permeables de 0.43.

La cubierta vegetal está formada por pinos, encinas, cubierta arbórea mixta, sabino enebreal, matorral, pastizal, garriga y cultivos agrícolas, estos últimos ocupan mayor extensión en el NW y en la mitad inferior de la cuenca.

#### 5.3.4. SUBCUENCA DEL RÍO AMARGUILLO

La subcuenca del río Amarguillo se ubica en la vertiente noreste de Montes de Toledo, con una orientación paralela a esta cadena montañosa (*Foto 5.12*). La cuenca, con un área de 154.44 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 1117 m y 620 m (*Figura V.4-Anexo V*) y tiene relieves pronunciados en su mitad superior, en contraste con el resto de la cuenca. que ofrece pendientes menores de 3% y con una relación de relieve es de 21.56 m/Km. El río Amarguillo, con una longitud de 25.125 Km. y una pendiente de 19.78 m/Km, presenta una red de drenaje de densidad 0.16 Km/ Km<sup>2</sup> y un índice medio de bifurcación de canales alto, de 4.16. La morfología de la cuenca es alargada en dirección W-E, con un parámetro de forma de 0.6 y el tiempo de concentración de la cuenca es de 7.33 horas.

Las litologías de la cuenca están representadas por materiales impermeables paleozoicos (cámbricos y ordovícicos) en cabecera y materiales neógenos y cuaternarios en el centro de la cuenca y aparecen afloramientos de granitos biotíticos del Devónico-Carbonífero al NE de la cuenca. En el interior de la cuenca también se encuentran materiales pliocuaternarios (raña) que presentan una capacidad de infiltración moderada, al igual que los depósitos neógenos. Los depósitos fluviales y aluviales cuaternarios, medianamente extensos, tienen una capacidad de infiltración más alta, y están formados principalmente por gravas, arenas, conglomerados, arcillas y limos. El resto de materiales son depósitos de ladera, también con una alta permeabilidad. La vegetación predominante en esta cuenca son los cultivos agrícolas, las repoblaciones de pino, el matorral y las especies de monte bajo.

El caudal máximo probable estimado para esta cuenca oscila entre 68 m<sup>3</sup>/seg para un período de retorno de 25 años y 162 m<sup>3</sup>/seg para un período de 500 años. La cuenca presenta un umbral de escorrentía de 26.31 mm

A pesar del escaso caudal que este río registra la mayor parte del año, se han producido importantes desbordamientos, debidos fundamentalmente a episodios tormentosos aislados. La inundación histórica más importante registrada en este río data de 1891 (*Domínguez Tendero, 1991; Potenciano, 1995 y Potenciano et al, 1996*) y afectó a varias poblaciones de la cuenca, especialmente a Consuegra, donde se produjeron numerosos daños y víctimas mortales. La presa romana existente aguas arriba de esta población quedó destruida en su mayor parte tras la avenida (*Foto 5.13*) .



**Foto 5.12** – Cauce vegetado del río Amarguillo y llanura de inundación. Al fondo relieves paleozoicos de Consuegra.



**Foto 5.13-** Meandro del río Amarguillo y restos de la presa romana



### 5.3.5. SUBCUENCA DEL RÍO ZÁNCARA

La subcuenca del río Záncara (*Figura V.5-Anexo V*), tiene su cabecera en los Altos de Cabrejas, en las estribaciones occidentales de la Serranía de Cuenca, y transcurre primero en dirección prácticamente N-S, para girar bruscamente a E-W adentrándose en las zonas llanas de la Mancha hasta desembocar en el Cigüela cerca de Alcázar de San Juan. Se ha considerado la cuenca del río Záncara hasta El Provencio, que hasta este punto tiene un área de 906 Km<sup>2</sup>. Presenta alturas entre 1100 m y 699 m, con pendientes suaves, aunque sí presenta elevadas pendientes en la mitad superior de la cuenca y en cabecera. En conjunto, la relación de relieve de la cuenca es de 5.2 m/Km. El río Záncara, con una longitud de 91 Km. y una pendiente de 4.41 m/Km., presenta una red de drenaje de baja densidad (0.26 Km/ Km<sup>2</sup>), con escasos cauces afluentes, y un índice medio de bifurcación de 6.2. La morfología de la cuenca es muy elongada en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.44. Estas características hacen que la cuenca tenga un tiempo de concentración alto, de 25.92 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Záncara en El Provencio es de 29.74 m<sup>3</sup>/seg entre los años 1923 y 1974 (*Foto 5.14 y Foto 5.15*)



**Foto 5.14** – Aspecto del río Záncara seco, a su paso por El Provencio, a comienzos del verano de 2003.



**Foto 5.15** - El río Záncara en El Provencio en los desbordamientos de 1997.

Las litologías predominantes en la cuenca son rocas carbonatadas y detríticas del Neógeno y Paleógeno, con un grado de infiltración moderado a alto. Son también muy extensos los afloramientos cretácicos sobre los que se desarrollan suelos de muy escaso espesor y muy baja permeabilidad. El río Záncara se encaja durante un tramo en el centro de la cuenca para continuar su curso por las litologías terciarias, más permeables. El resto de materiales corresponden a depósitos cuaternarios, de permeabilidad alta, y aislados afloramientos jurásicos.

La cubierta vegetal está formada por encinas, matorral y pastizal, fundamentalmente, también existen zonas de repoblación de pinos, robledales, sabino-enebral y cultivos agrícolas. Estos últimos presentan mayor extensión en el centro y sur de la cuenca. El umbral de escorrentía de esta cuenca es de 40.95 mm

### 5.3.6. SUBCUENCA DEL RÍO CÓRCOLES

El río Córcoles (*Figura V.6-Anexo V*) es afluente del Záncara por su margen izquierda, su cuenca tiene un área de 92 Km<sup>2</sup> y presenta alturas entre 1000 m y 800 m. La subcuenca tiene los relieves más importantes en su cabecera, mientras que su zona media y baja no se superan pendientes del 3%. Esta diferencia de pendientes entre cabecera y la parte baja de la cuenca, en un área reducida, hacen que la relación de relieve sea relativamente alta 9.26 m/Km. La morfología también varía mucho entre la parte alta y baja de la cuenca, la zona de cabecera es redondeada mientras que la mitad inferior de la cuenca es muy estrecha y alargada en dirección SE-NW. El parámetro de forma es de 0.5. El río Córcoles tiene una longitud de 20 Km. y una pendiente de



10 m/Km., presenta una red de drenaje poco densa ( $0.22 \text{ Km/ Km}^2$ ) constituida básicamente por el cauce principal y la densidad de corrientes es también muy baja, de  $0.05 \text{ Nc/Km}$ . El tiempo de concentración de la cuenca es de 7.01 horas. El registro más alto de caudal máximo diario aforado en el río Córcoles a la salida de la cuenca es de  $11.30 \text{ m}^3/\text{seg}$ , entre los años 1922 y 1983.

Las litologías más abundantes en esta cuenca son, en la zona de cabecera, la calizas, dolomías y margas del Jurásico-Cretácico y las formaciones cuaternarias detríticas de origen tanto aluvial como fluvial (conglomerados, gravas, arenas y limos). En la mitad inferior de la cuenca dominan los materiales neógenos (conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y yesos) y los materiales detríticos aluviales y fluviales cuaternarios. Los materiales con baja permeabilidad como las arcillas, limos, margas y yesos son abundantes en esta cuenca, mientras que los materiales más permeables ocupan menor extensión. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 3 lo que indica una alta impermeabilidad de la cuenca.

La vegetación en esta cuenca está formada fundamentalmente por pinos y cultivos agrícolas. Existen también zonas de encinar, y pequeñas extensiones de matorral, pastizal y robledal en la cabecera de la cuenca.

### 5.3.7. SUBCUENCA DEL RÍO GUADIANA HASTA ATAJADERO

La subcuenca del río Guadiana desde su cabecera hasta Atajadero (*Figura V.7-Anexo V*) tiene un área de  $1107 \text{ Km}^2$ . Presenta alturas entre 1000 m en cabecera y 700 m, con relieves suaves de  $5.16 \text{ m/Km}$ . y las pendientes mayores están en la parte media de la cuenca, lo que le confiere una característica anómala. La morfología de la cuenca es ligeramente alargada en dirección SE-NW, con un parámetro de forma de 0.65. El río Guadiana en este tramo tiene una longitud de  $33.7 \text{ Km}$ . y una pendiente moderada, de  $5.93 \text{ m/Km}$ ., presenta una red de drenaje poco densa ( $0.03 \text{ Km/ Km}^2$ ), constituida únicamente por el cauce principal, el Guadiana, que en este tramo de cabecera no presenta cauces afluentes, por lo que la densidad de corrientes es igualmente baja, de  $0.03 \text{ Nc/Km}$ . El tiempo de concentración de la cuenca es de 11.51 horas. El caudal mayor, de los máximos diarios, aforado en el río Guadiana en Atajadero es de  $15.10 \text{ m}^3/\text{seg}$ . entre los años 1912 y 1946.

En cuanto a la litología, la mayor parte de la cuenca está formada por materiales jurásicos formados por dolomías, calizas, margas, conglomerados y areniscas, y en cabecera afloran también materiales calizos y margosos del Cretácico y arcillas y yesos del Triásico. El resto de la cuenca está cubierta por depósitos detríticos cuaternarios de origen aluvial y fluvial. La relación

entre materiales impermeables y permeables es de 5.7. La mayor parte de la cuenca, por tanto, está constituida por materiales poco permeables.

En cuanto a la cubierta vegetal, solo aparecen cultivos agrícolas en la cabecera de la cuenca, el resto de la cubierta está formada por vegetación de monte bajo (matorral y tomillar), pinos, encinas, robles y pastizal más o menos denso.

### 5.3.8. SUBCUENCA DEL RÍO AZUER

El río Azuer nace en las últimas estribaciones norte de la Sierra de Alcaraz (*Figura V.8-Anexo V*), transcurre por Campo de Montiel hasta prácticamente la mitad de su recorrido para pasar luego a atravesar la zona más occidental de la llanura Manchega, dejando a su izquierda Campo de Calatrava, hasta desembocar en el río Guadiana en Daimiel.

La subcuenca del Azuer tiene dos zonas bien diferenciadas. Una parte, desde su nacimiento hasta Vallehermoso, donde se concentra la mayor densidad de la red de drenaje y las mayores alturas de la cuenca, y otra parte desde Vallehermoso hasta Daimiel. Es debido a estas diferencias por lo que se considera conveniente estudiar por un lado la cuenca completa hasta Daimiel y, por otro lado, la subcuenca hasta Vallehermoso.

La cuenca completa hasta Daimiel tiene una extensión de 1699 Km<sup>2</sup> con alturas entre 1018 m y 618 m. La cuenca presenta una morfología alargada en dirección SE-NW, con un parámetro de forma de 0.5. con escasas pendientes, menores del 3%, salvo la zona de cabecera, y relieves muy suaves con relación de relieve de 4.27 m/Km. El río Azuer tiene una longitud de 100 Km. y una pendiente de 3.82 m/Km. La red de drenaje es muy poco densa (0.21 Km/ Km<sup>2</sup>), la mayoría de cauces secundarios se concentran en la parte alta de la cuenca y su índice medio de bifurcación de canales es de 5.39. El tiempo de concentración de la cuenca del Azuer hasta Daimiel es muy alto, de 28.61 horas.

La subcuenca hasta Vallehermoso, con un área de 470 Km<sup>2</sup>, presenta alturas entre 1018 m y 750 m en su parte más baja. Casi la mitad de la cuenca presenta pendientes menores del 3% y una relación de relieve de 6.09 m/Km. El río Azuer hasta Vallehermoso tiene una longitud de 29 Km. y una pendiente de 8.62 m/Km., y presenta una red de drenaje de densidad 0.44 Km/ Km<sup>2</sup> y un índice medio de bifurcación de canales de 3.75. La morfología de esta subcuenca es alargada en dirección SE-NW, con un parámetro de forma de 0.556, algo mayor que para la subcuenca completa. El tiempo de concentración de la cuenca del río Azuer hasta Vallehermoso es de 9.57 horas, mucho menor que el total.

En cuanto al caudal, el valor máximo diario más alto aforado en el río Azuer en Vallehermoso es de 55.39 m<sup>3</sup>/seg y en el Azuer en Daimiel (desembocadura) es de 11.89 m<sup>3</sup>/seg. Esta gran diferencia entre los dos caudales teniendo en los dos puntos de la cuenca puede deberse a que, en el año de registro de estos caudales máximos (1963), ya estaba construida la presa de Vallehermoso y por tanto los caudales del Azuer están regulados aguas abajo de la obra. Aún así, el río Azuer es un río típico de Llanura Manchega que apenas lleva caudal en su tramo bajo, antes de desembocar en el Guadiana junto a las Tablas de Daimiel (*Foto 5.16*). Este río, sin embargo, puede dar problemas de inundaciones en Daimiel, como ocurrió en el invierno de 1996-97.



**Foto 5.16** – El río Azuer aguas arriba de Daimiel y la amplia llanura de inundación de frecuentes desbordamientos

Las litologías predominantes en el centro-norte de la cuenca y en la cabecera, hasta Vallehermoso, son materiales triásicos y jurásicos (fundamentalmente arcillas, yesos, dolomías, calizas dolomíticas, margas, areniscas) sobre las que se forman suelos de escaso espesor y permeabilidad baja. En el centro de la cuenca, y con una orientación E-W, prácticamente perpendicular a la dirección del río, afloran los materiales paleozoicos ordovícicos (cuarcitas y pizarras), que son impermeables con escaso o nulo desarrollo de suelo. El resto de la cuenca está ocupada por materiales con permeabilidades moderadas a altas como son las arenas, margas y calizas miocenas, las rañas pliocuaternarias, los depósitos fluviales y aluviales cuaternarios que presentan un escaso desarrollo en esta cuenca y, por último, escasos depósitos de ladera al pie de los afloramientos paleozoicos. Estos materiales más permeables son predominantes en la parte baja de la cuenca aguas abajo de Vallehermoso, hasta Daimiel.

En cuanto a la cubierta vegetal, en esta cuenca hay una extensión importante repoblada con pinos, y en la mitad superior predominan la alternancia de cultivos agrícolas con encinar. En la

cabecera de la cuenca la vegetación más abundante es el matorral y monte bajo. El umbral de esorrentía de la cuenca del río Azuer hasta Vallehermoso es de 52.2 mm y en la subcuenca completa, hasta Daimiel, es de 47.4 mm

### 5.3.9. SUBCUENCA DEL RÍO JABALÓN

El río Jabalón, afluente del Guadiana por su margen izquierda (*Figura V.9-Anexo V*), describe una cuenca de 2389 Km<sup>2</sup> con alturas máximas de 1000 m en cabecera y mínimas de 600. La variación de pendientes es muy uniforme en toda la cuenca, con una relación de relieve baja, de 3.37 m/Km (*Foto 5.17*). La morfología de la cuenca es claramente elongada en dirección NW-E, con un parámetro de forma de 0.465. El río Jabalón tiene una longitud de aproximadamente 159 Km. y una pendiente de 2.5 m/Km., presenta una escasa densidad de drenaje (0.07 Km/ Km<sup>2</sup>) y una densidad de corrientes también muy baja, de 0.006 Nc/Km. El índice medio de bifurcación de canales es de 1.5 y el tiempo de concentración de la cuenca es de 44.07 horas. El río Jabalón registró, entre los años 1949 y 1995 caudales máximos diarios a la salida de la cuenca de hasta 140.4 m<sup>3</sup>/seg.



**Foto 5.17** - El río Jabalón con su llanura en parte desbordada tras las avenidas del invierno de 1997

La cuenca está enmarcada por materiales paleozoicos y triásicos que ocupan prácticamente el 50 % de la cuenca, y son en su mayoría litologías impermeables o de escasa permeabilidad. El centro de la cuenca está ocupada por materiales neógenos y cuaternarios. Los materiales neógenos (detríticos, calizas y yesos) tienen una permeabilidad moderada y presentan un desarrollo de suelos más importante que los paleozoicos. Los depósitos detríticos aluviales cuaternarios se extienden fundamentalmente en la mitad inferior de la cuenca, y presentan una permeabilidad más alta. En general la cuenca presenta un equilibrio, en cuanto a su extensión,

entre los materiales más impermeables (paleozoicos) y las litologías con mayor permeabilidad (neógenas y cuaternarias), con una ligera predominancia de los primeros sobre los segundos. La relación entre el porcentaje de materiales impermeables y permeables es de 1.5

La vegetación mayoritaria en esta cuenca es el pino, sabino-enebral, encinar y especies de monte bajo (matorral y garriga) y los cultivos agrícolas que se dan fundamentalmente al norte y en la cabecera de la cuenca.

### 5.3.10. SUBCUENCA DEL RÍO BAÑUELOS HASTA MALAGÓN

La subcuenca del río Bañuelos (*Figura V.10-Anexo V*) se ubica en la vertiente sur de Montes de Toledo, con una orientación prácticamente perpendicular a esta cadena montañosa. La cuenca, con un área de 312 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 1073 m y 650 m en y un tercio de la cuenca presenta pendientes por encima del 3% y una relación de relieve de 16.5 m/Km. El río Bañuelos, con una longitud de 22 Km. y una pendiente de 15.64 m/Km., presenta una red de drenaje de densidad 0.43 Km/ Km<sup>2</sup> bien ramificada, con un índice medio de bifurcación de canales de 2.08. La morfología de la cuenca es ligeramente elongada en dirección NW-S, con un parámetro de forma de 0.76, lo que nos indica una morfología con poca diferencia entre la longitud y la anchura de la cuenca. Estas características hacen que la cuenca tenga un tiempo de concentración pequeño, de 6.93 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Bañuelos a la altura de Malagón (salida de la cuenca considerada) es de 60.32 m<sup>3</sup>/seg. entre los años 1920 y 1995.

Las litologías de la cuenca están representadas por materiales impermeables paleozoicos que constituyen las mayores alturas de la cuenca, aunque también encontramos materiales pliocuaternarios (raña) que presentan una capacidad de infiltración moderada y se sitúan principalmente al pie de los materiales ordovícicos y precámbricos. Los depósitos fluviales y aluviales cuaternarios (*Foto 5.18*), rellenan los valles encajados entre los relieves paleozoicos y rañas, junto con calizas, margas y arenas miocenas en pequeños afloramientos que representan las zonas de mayor infiltración.

La vegetación predominante en esta cuenca es el pino, encina, roble y sabino enebreal, el matorral y tomillar y los cultivos agrícolas. La cuenca presenta un umbral de escorrentía de 34.645 mm

Esta cuenca está regulada mediante la canalización del río Bañuelos a su paso por Malagón (*Foto 5.19*) y el canal de desviación desde el embalse de Gasset, que regula a su vez las aguas del río Becea.



**Foto 5.18** – Cuenca del Bañuelos en la depresión terciaria enmarcada en los relieves paleozoicos de los Montes de Toledo



**Foto 5.19** – Canalización del río Bañuelos a su paso por Malagón y vertidos de escombros que obstaculizan el cauce

### 5.3.11. SUBCUENCA DEL RÍO BECEA HASTA MALAGÓN

La subcuenca del río Becea, situada al sur-este de la cuenca del Bañuelos, se ubica en la vertiente sur de Montes de Toledo, con una orientación prácticamente paralela a esta cadena montañosa (*Figura V.10-Anexo V*) y con un área de 123 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 1035 m y 760 m. Casi la mitad de la cuenca tiene pendientes mayores del 3% y una relación de relieve de 18.83 m/Km. El río Becea, con una longitud de 17.5 Km. y una pendiente de 12.57 m/Km., ofrece una red de drenaje de densidad 0.446 Km/ Km<sup>2</sup> bien ramificada, con un índice medio de bifurcación de canales de 2.6. La morfología de la cuenca es ligeramente alargada en dirección W-E, con un parámetro de forma de 0.86 y el tiempo de concentración es pequeño, de 6.07 horas.



Los valores de caudal máximo diario más altos aforados en el río Becea a la altura de Malagón, aguas abajo del embalse de Gasset, son de 164.49 y 161.28 m<sup>3</sup>/seg, entre los años 1919 y 1995, registrados ambos en el mismo año de 1928. Estos debieron ser caudales extraordinarios dentro del régimen natural del río, si tenemos en cuenta el pequeño área de la cuenca, pues el siguiente caudal más alto de la serie es de 33.29 m<sup>3</sup>/seg, aunque justificable por el corto tiempo de concentración y la torrencialidad de las lluvias en los Montes de Toledo.

Las litologías predominantes en esta cuenca son los materiales pliocuaternarios (raña) con una capacidad de infiltración moderada (*Foto 5.20*) y también afloran, aunque en menor extensión que las rañas, los materiales impermeables paleozoicos. La cubierta vegetal en esta cuenca está formada por pino, encina, roble y sabino enebreal, matorral, tomillar y cultivos agrícolas. La cuenca presenta un umbral de escorrentía de 31.5 mm.



**Foto 5.20** – El río Becea aguas arriba del embalse de Gasset y los problemas de indefinición del cauce sobre las depresiones terciarias de la Mancha. Recubrimiento de raña en el valle y sobre la llanura.

#### 5.4. SUBCUENCAS DEL RÍO TAJO

En la cuenca del Tajo se han considerado las cuencas de tres grandes tributarios, además de algunos de sus afluentes, varias cuencas del Alto Tajo y uno de sus escasos y cortos afluentes meridionales. Las cuencas del Alto Tajo corresponden a una serie de ríos que se desarrollan en los relieves mesozoicos de la Cordillera Ibérica (*Foto 5.21*) y discurren hacia el Oeste para unirse al Tajo en el accidente meridiano que constituye la Sierra de Altomira. Son cuencas que gozan, por tanto, de unas características diferenciadas, tanto por sus condiciones de relieve, de litología y de clima.



**Foto 5.21** – Las cuencas del Alto Tajo, desarrolladas en los relieves mesozoicos de la Ibérica, presentan características kársticas, como el río Cuervo a su paso por Solán de Cabras.

#### 5.4.1. SUBCUENCA DEL ALTO TAJO

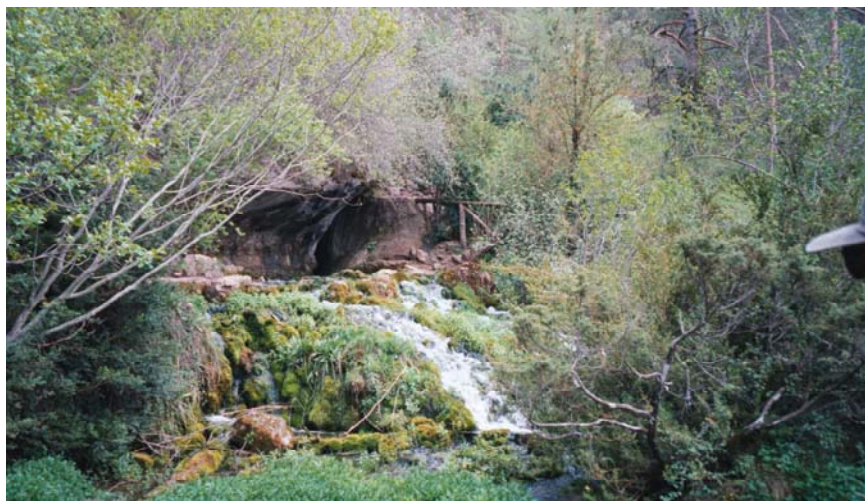
##### 5.4.1.1. Subcuenca del río Cuervo

El río Cuervo transcurre a lo largo de una cuenca de 350.8 Km<sup>2</sup> (*Figura V.11-Anexo V*). Este río es afluente del río Tajo en su cabecera y las alturas de la cuenca oscilan entre los 1700 y 1000 m, presentando zonas de marcada pendiente (*Foto 5.22*). La relación de relieve de la cuenca es de 24.8 m/Km. El río Cuervo, con una longitud de 38 Km. y una pendiente de 15.77 m/Km., presenta una red de drenaje de muy poca densidad (0.16 Km/ Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también muy baja (0.05 Nc/Km.). El índice medio de bifurcación de canales es 1. La morfología de la cuenca es muy redondeada y ligeramente elongada en dirección SE-NW, con un parámetro de forma de 0.75. El tiempo de concentración de esta cuenca es 10.49 horas. El mayor caudal máximo diario aforado a la salida de la cuenca del río Cuervo, entre los años 1965 y 1986. es de 34.62 m<sup>3</sup>/seg.

La mayor parte de la cuenca está constituida por materiales mesozoicos, carbonatados y arcillosos. El resto de litologías de la cuenca son materiales neógenos y cuaternarios con una permeabilidad moderada. La relación entre materiales impermeables y permeables es 1.5.

La cuenca del río Cuervo tiene una cubierta vegetal formada principalmente por mezcla de pinos y encinas, aunque en la parte alta de la cuenca dominan los cultivos agrícolas alternando con matorral, robledal y romeral.





**Foto 5.22** - Surgencia kárstica que constituye el nacimiento del río Cuervo, formada en calizas y dolomías del Cretácico Superior

#### 5.4.1.2. Subcuenca del río Escabas

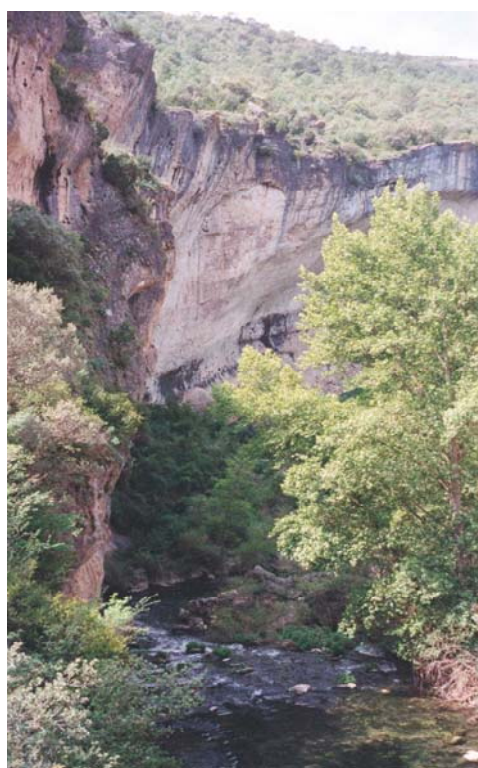
El río Escabas (*Figura V.12-Anexo V*), con un cuenca de 341.7 Km<sup>2</sup>, es afluente del río Guadiela por su margen izquierda que, a su vez, vierte en el río Tajo. Las alturas de la cuenca del Escabas oscilan entre los 1700 m y los 800 m. La variación de pendientes es uniforme en toda la cuenca, que presenta una alta relación de relieve, 19.2 m/Km. El río presenta un importante encajamiento a lo largo de su recorrido, formando cañones y hoces (*Foto 5.23 y Foto 5.24*). El río Escabas, con una longitud de 58.5 Km. y una pendiente de 11.96 m/Km., presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.17 Km/ Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también baja (0.02 Nc/Km). La morfología de la cuenca es muy alargada, en dirección SE-NW, con un parámetro de forma de 0.44 y el tiempo de concentración de esta cuenca es de 15.33 horas. El río Escabas registró a la salida de la cuenca caudales máximos diarios de hasta 84.50 m<sup>3</sup>/seg, entre los años 1911 y 2000.

La cuenca del río Escabas está constituida, fundamentalmente, por materiales mesozoicos calcáreos que definen sus características kársticas. En cambio, en la mitad inferior de la cuenca afloran con mayor extensión materiales detríticos neógenos y cuaternarios, con mayor permeabilidad. La relación entre materiales impermeables y permeables es 1 lo una permeabilidad moderada de la cuenca.

La cubierta vegetal en esta cuenca está constituida principalmente por matorral, encinas y pinos. Los cultivos agrícolas también ocupan una extensión importante sobre todo en la parte alta de la cuenca y en su desembocadura. Con esta vegetación predominante alternan en algunas zonas el roble, el sabino enebro y el tarajal.



**Foto 5.23** – Valle del río Escabas encajado en la Serranía de Cuenca



**Foto 5.24** – Cañones del río Escabas que forman la Hoz de Priego al cortar los relieves mesozoicos.

#### **5.4.1.3. Subcuenca del río Trabaque**

El río Trabaque (*Figura V.13-Anexo V*) es afluente del Escabas y, por tanto, es un afluente de segundo orden del río Tajo, su cuenca tiene un área de 217.51 Km<sup>2</sup> (*Foto 5.25*). La cuenca presenta alturas máximas de 1500 m. y mínimas de 900 m. Las pendientes en esta cuenca son importantes, sobre todo en su cabecera, con una relación de relieve alta, de 30.6 m/Km. El río Trabaque tiene una longitud de 18.6 Km. y una pendiente de 21.5 m/Km, presenta una red de

drenaje de escasa densidad ( $0.154 \text{ Km} / \text{Km}^2$ ), y una densidad de corrientes también muy baja ( $0.11 \text{ Nc/Km}$ ). El índice medio de bifurcación de canales es 2. La cuenca tiene una morfología bastante redondeada, con elongación en dirección E-W y un parámetro de forma de 0.85. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 5.74 horas. El río Trabaque registró a la salida de su cuenca caudales máximos diarios de hasta  $36.10 \text{ m}^3/\text{seg}$ , entre los años 1968 y 2000.



**Foto 5.25** – Río Trabaque. Cauce bien encajado y extensa llanura de inundación.

En la mitad superior de la cuenca del río Trabaque afloran materiales mesozoicos, con permeabilidades de moderadas a bajas. La mitad inferior de la cuenca, sin embargo, está ocupada por materiales de mayor permeabilidad como son las areniscas del neógeno y los depósitos aluviales y fluviales cuaternarios. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 1.22

La vegetación en esta cuenca está formada por pinos, matorral y tarajal, cubierta arbórea mixta, encinar, robledal y sabino enebreal. Los cultivos agrícolas ocupan prácticamente toda la mitad superior de la cuenca y pequeñas zonas en la desembocadura con el río Escabas.

#### **5.4.1.4. Subcuenca del río Guadamejud**

La subcuenca del río Guadamejud (*Figura V.14-Anexo V*) se ubica en la provincia de Cuenca, tiene un área de  $399.98 \text{ Km}^2$ . El río Guadamejud vierte en el río Mayor que a su vez es afluente del Guadiela, afluente del Tajo por su margen izquierda (*Foto 5.26 y Foto 5.27*). Las alturas de la cuenca oscilan entre los 1200 m. y los 800 m., presentando pendientes suaves en el centro y relieves más marcados en los bordes de cuenca. La relación de relieve de la cuenca es de  $9.41 \text{ m/Km}$ . El río Guadamejud, con una longitud de  $47.64 \text{ Km}$  y una pendiente de  $6.3 \text{ m/Km}$ , presenta una red de drenaje de muy poca densidad ( $0.12 \text{ Km} / \text{Km}^2$ ), y una densidad de



corrientes también muy baja ( $0.02 \text{ Nc/Km}$ ). La morfología de la cuenca es alargada en dirección E-NW, con un parámetro de forma de 0.53. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 14.81 horas. El caudal máximo diario más alto registrado a la salida de la cuenca del Guadamejud entre 1965 y 2000 es de  $21.16 \text{ m}^3/\text{seg}$ .



**Foto 5.26** – Los afluentes meridionales del Alto Tajo presentan ya relieves más suaves condicionados por los materiales neógenos como el río Guadamejud, en el centro del valle.



**Foto 5.27** - Tramo de cauce del río Guadamejud cubierto de vegetación

La cuenca del río Guadamejud está constituida por materiales neógenos y cuaternarios. La mayor parte de estas litologías presentan una permeabilidad alta, por lo que la relación entre materiales impermeables y permeables es 0.1

La cuenca del Guadamejud tiene una cubierta vegetal compuesta fundamentalmente por matorral, garriga y cultivos agrícolas, alternando con pinos, encinas, robles y cubierta arbórea mixta. En cabecera aparecen pequeñas áreas con genista y pastizal.

#### 5.4.1.5. Subcuenca del río Mayor

El río Mayor (*Figura V.15-Anexo V*) desemboca en el río Guadiela y describe una cuenca de 419.8 Km<sup>2</sup>, con alturas máximas de 1100 m. y mínimas de 800 m (*Foto 5.28 y Foto 5.29*). La variación de pendientes en esta cuenca es muy uniforme, con relieves suaves, la parte media e inferior de la cuenca son las zonas de menor relieve. La relación de relieve es baja, 8.6 m/Km. El río Mayor tiene una longitud de 39.93 Km. y una pendiente de 7.5 m/Km y presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.12 Km/ Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también muy baja (0.05 Nc/Km). El índice medio de bifurcación de canales es 1 y el parámetro de forma general de la cuenca es de 0.66. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 12.52 horas. A la salida de la cuenca del río Mayor, el valor más alto de caudal máximo diario registrado es de 15.64 m<sup>3</sup>/seg entre 1965 y 2000.



**Foto 5.28** – El río Mayor constituye el cauce más meridional del Alto Tajo y la divisoria de aguas con las cabeceras de los principales afluentes del Alto Guadiana.



**Foto 5.29** – El río Mayor presenta ya características más análogas a los ríos de la Llanura Manchega.

La cuenca del río Mayor está constituida casi completamente por materiales terciarios y cuaternarios, solo aparecen unos pequeños afloramientos cretácicos en el NW de la cuenca. La mayoría de estas litologías presentan permeabilidades moderadas a altas, la relación entre materiales impermeables y permeables es de 0.1.

La vegetación en esta cuenca está formada principalmente por cultivos agrícolas, matorral y pastizal. Alternan también, pero en menor extensión, la encina, el pino, la garriga, el sabino enebreal y cubierta arbórea mixta.

## 5.4.2. SUBCUENCAS DEL RÍO HENARES

### 5.4.2.1. Subcuenca del río Henares hasta Bujalaro

La cabecera del río Henares hasta Bujalaro, describe una cuenca de 1285 Km<sup>2</sup> (*Figura V.16-Anexo V*) que presenta alturas máximas de 1200 m. y mínimas de 800 m. La variación de pendientes no es uniforme en toda la cuenca, hay zonas con pendientes muy pronunciadas, en contraste con otras zonas muy suaves (*Foto 5.30*), el río sufre encajamientos en algunos puntos, sobre todo en la parte baja de la cuenca. La relación de relieve es baja, 9.32 m/Km. El río Henares hasta Bujalaro, con una longitud de 49.32 Km y una pendiente de 6.08 m/Km, presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.17 Km/ Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también baja (0.142 Nc/Km). El índice medio de bifurcación de canales es 3.57.



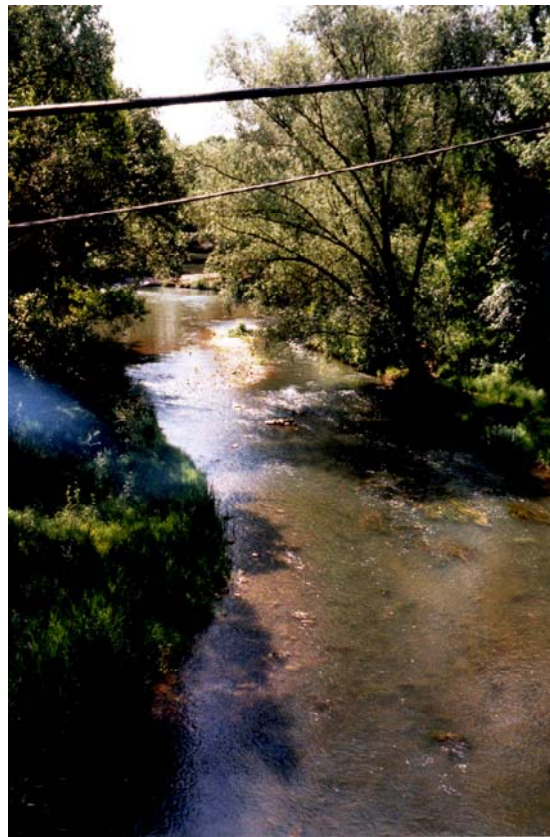
**Foto 5.30** – La cabecera del río Henares desarrolla su valle en relieves poco abruptos en la Cordillera Ibérica, sin captar aún grandes caudales, como a su paso por Sigüenza.

La morfología de la cuenca es alargada, en dirección NE-SW, aunque en su cabecera tiene mucha anchura, el parámetro de forma general de la cuenca es de 0.94. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 15.31 horas. El río Henares registra en Bujalaro caudales máximos diarios de hasta 135 m<sup>3</sup>/seg, entre los años 1912 y 2000.

La cuenca del río Henares hasta Bujalaro está constituida por materiales mesozoicos en su parte media y alta. Estos materiales están representados por litologías mesozoicas de permeabilidad media. La parte baja de la cuenca está formada fundamentalmente por materiales neógenos con una permeabilidad alta. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 3 lo que indica una baja permeabilidad general de la cuenca. La mayor parte de la vegetación de esta cuenca la forman pinos, encinas y cubierta más o menos densa de césped y otras herbáceas.

#### 5.4.2.2. Subcuenca del río Henares hasta la estación de aforo el Espinillo

La subcuenca del río Henares hasta el Espinillo (*Figura V.17-Anexo V*) se sitúa entre las provincias de Guadalajara y Madrid (*Foto 5.31*).



**Foto 5.31** - El caudal del río Henares aumenta considerablemente al incorporarse los afluentes que provienen del Norte, del Sistema Central, como ocurre ya en Espinosa de Henares, ya aguas debajo de la estación de aforos de Bujalaro

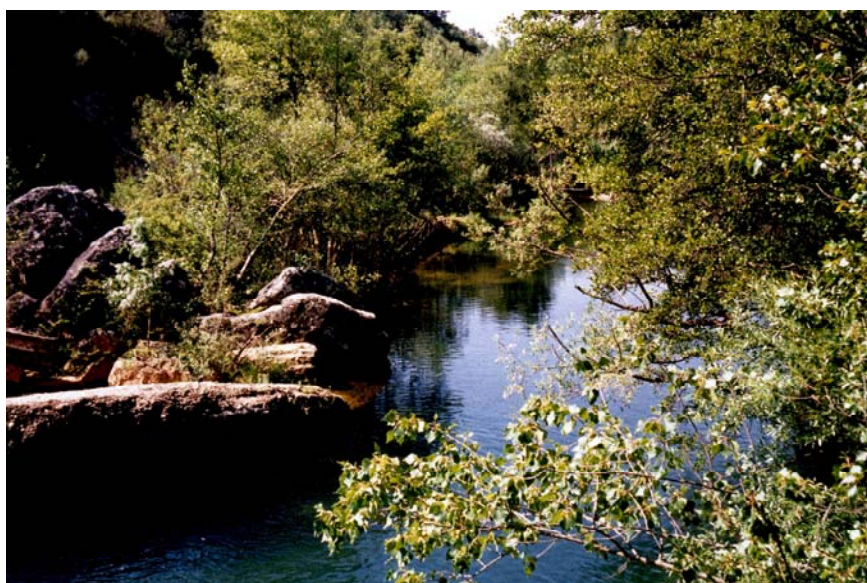


La cuenca tiene un área de 3999.3 Km<sup>2</sup> y presenta alturas entre 1200 m y 500 m, con relieves pronunciados en su mitad superior, y relieves más suaves en su parte baja, la relación de relieve es de 6.31 m/Km. El río Henares, hasta este punto de aforo, tiene una longitud de 151.97 Km y una pendiente de 3.95 m/Km, presenta una red de drenaje de densidad 0.15 Km/Km<sup>2</sup> y el índice medio de bifurcación de canales es alto, de 5.2. La morfología de la cuenca es ligeramente alargada en dirección NE-SW, con un parámetro de forma de 0.64. El tiempo de concentración de la cuenca es muy alto, de 39.08 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Henares en la estación de aforos del Espinillo es de 995 m<sup>3</sup>/seg, entre los años 1929 y 1995.

La cuenca hasta el Espinillo tiene una mayor extensión de materiales neógenos y cuaternarios, por tanto la permeabilidad de la cuenca hasta este punto es mayor que en la zona de cabecera. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 0.54. La vegetación predominante en esta cuenca es el pino, encina, roble y sabino enebro, el matorral y tomillar y los cultivos agrícolas. Estos últimos tienen mayor extensión al norte de la cuenca.

#### 5.4.2.3. Subcuenca del río Sorbe

La cuenca del río Sorbe (*Figura V.18-Anexo V*), con un área de 439 Km<sup>2</sup>, es afluente del Henares por su margen derecha (*Foto 5.32*) y su cuenca presenta alturas máximas de 2000 m., en cabecera, y alturas mínimas de 1000 m, con un alto encajamiento del río en algunos tramos. La relación de relieve es muy alta, de 34.5 m/Km. El río Sorbe tiene una longitud de 47.56 Km. y una pendiente de 18.92 m/Km, presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.11 Km/Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también muy baja (0.02 Nc/Km).



**Foto 5.32** – El río Sorbe, uno de los mayores afluentes del Henares, discurre encajado en materiales paleozoicos a lo largo de casi todo su recorrido.



La cuenca tiene una morfología muy alargada, en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.815. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 12 horas. El caudal máximo diario más alto aforado a la salida de la cuenca del río Sorbe es de  $196 \text{ m}^3/\text{seg}$ , entre los años 1913 y 2000.

En gran parte de la cuenca del río Sorbe afloran materiales ordovícicos, en su mayoría impermeables. En la cabecera de la cuenca afloran también litologías cretácicas, de permeabilidad moderada a baja, litologías triásicas, de permeabilidad baja, y algunas zonas de cabecera también están ocupadas por materiales terciarios, pero éstos últimos son mucho más abundantes en la parte baja de la cuenca, que presenta la permeabilidad más alta. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 2.33.

La cuenca del río Sorbe tiene una vegetación formada principalmente por encinas, repoblación de pinos, cultivos agrícolas, matorral y pastizal. También alternan en algunas zonas el sabino enebreal, la garriga, césped más o menos denso y cubierta arbórea mixta.

#### 5.4.2.4. Subcuenca del río Badiel

El río Badiel (*Figura V.19-Anexo V*) es afluente del río Henares por su margen izquierda y forma una cuenca de  $325.4 \text{ Km}^2$ . Las alturas de la subcuenca oscilan entre los 1100 y los 700 m, y en general presenta pendientes suaves, excepto en el centro de la cuenca donde el río presenta un importante encajamiento (*Foto 5.33*). La relación de relieve de la cuenca es de  $9.24 \text{ m/Km}$ . El río Badiel, con una longitud de  $39.7 \text{ Km}$ . y una pendiente de  $7.55 \text{ m/Km}$ ., transcurre en dirección NE-SW, y presenta una red de drenaje de muy poca densidad ( $0.12 \text{ Km/Km}^2$ ), y una densidad de corrientes también muy baja ( $0.025 \text{ Nc/Km}$ .).



**Foto 5.33** – El río Badiel representa una pequeña cuenca ya encajada en los materiales terciarios.

La morfología de la cuenca es alargada, con un parámetro de forma de 0.47, por tanto el tiempo de concentración de esta cuenca es muy bajo, de 12.46 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Badiel a la salida de la cuenca, entre los años 1978 y 2000. es de  $14.04 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

La cuenca del río Badiel está constituida, casi en su totalidad, por materiales neógenos con una permeabilidad variable, desde la impermeabilidad de las arcillas a la alta permeabilidad de las arenas arcósicas y calizas. Aparecen también en cabecera pequeños afloramientos cretácicos. Los materiales detríticos aluviales cuaternarios, de permeabilidad moderada a alta, se extienden fundamentalmente por la mitad inferior de la cuenca. La relación entre el porcentaje de materiales impermeables y permeables de 0.1. lo que indica una permeabilidad alta.

Una gran parte de la cuenca del Badiel está ocupada por cultivos agrícolas, alternando con matorral, encinas y cubierta arbórea mixta. También hay zonas de pinos y pequeñas áreas con césped y herbáceas.

#### **5.4.2.5. Subcuenca del río Bañuelos hasta Alcalá de Henares**

El río Bañuelos (*Figura V.20-Anexo V*), que nace en el Puntal de Camarma (próximo a Alcalá de Henares, provincia de Madrid), es afluente del Henares y transcurre en dirección N-S. La cuenca de este río tiene un área de  $16 \text{ Km}^2$  presenta alturas entre 769 m en cabecera y 580 m en su desembocadura con el Henares, al sur de Alcalá de Henares. La cuenca tiene pendientes muy suaves, con una media del 3.4% en la mitad superior y menores del 3% en el resto, donde la mayor parte del terreno está urbanizado. La relación de relieve de la cuenca es de  $12.9 \text{ m/Km}$ . El río Bañuelos, con una longitud de 11.95 Km. y una pendiente de  $15.816 \text{ m/Km}$ ., transcurre en dirección N-S y presenta una red de drenaje de densidad  $0.98 \text{ Km/ Km}^2$  con dos cauces afluentes que siguen orientaciones también N-S, y un índice medio de bifurcación de 1. La morfología de la cuenca es muy elongada en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.31. Estas características hacen que la cuenca tenga un tiempo de concentración de 4.35 horas.

El caudal máximo probable estimado para esta cuenca oscila entre  $4.9 \text{ m}^3/\text{seg}$  para un período de retorno de 25 años y  $12.5 \text{ m}^3/\text{seg}$  para un período de 500 años.

La totalidad de la cuenca está ocupada por materiales cuaternarios, con extenso desarrollo de depósitos aluviales, de llanura de inundación y terrazas. Los depósitos aluviales y de llanura de inundación (materiales detríticos con matrices limo-arcillosas), que se distribuyen en la parte interna de la cuenca, presentando mayor desarrollo en la mitad superior y en la zona de desembocadura, son materiales en general poco permeables. En cambio, en la mitad inferior de la cuenca y en los bordes, sobre todo en el borde noreste, están más desarrollados los depósitos de terraza y coluviones, constituidos fundamentalmente por arcosas, gravas, cantos poligénicos,

con matrices más arenosas, que presentan un grado de permeabilidad mayor. Estos últimos materiales, más permeables, son los más abundantes en la cuenca, por lo que en conjunto la cuenca tiene un grado de infiltración moderado, con un umbral de escorrentía de 29.83 mm.

La vegetación predominante son los cultivos agrícolas, el pastizal, el matorral y pequeños cultivos herbáceos. También encontramos zonas de suelo improductivo, localizadas en su mayoría en la zona sur de la cuenca de estudio, ya dentro de la población de Alcalá de Henares.

### 5.4.3. SUCUENCAS DEL RÍO JARAMA

#### 5.4.3.1. Río Jarama

La subcuenca del Jarama (*Figura V.21-Anexo V*) recorre de norte a sur la Comunidad de Madrid. Se ha estudiado la mitad superior de la subcuenca, hasta Algete, y la subcuenca completa hasta Aranjuez (*Foto 5.34 y Foto 5.35*). Hasta Algete la cuenca tiene un área de 2598.5 Km<sup>2</sup> y hasta Aranjuez la extensión de la cuenca es de 3581.7 Km<sup>2</sup>. La cuenca presenta alturas máximas de 2000 m en cabecera y mínimas de 500 m. en Algete y 400 m. en Aranjuez. El relieve de la cuenca es alto, con relaciones de relieve de 15.77 m/Km en la mitad superior y moderados, con relaciones de 10.11 m/Km, en la cuenca completa. Su morfología es elongada en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.6 considerando la cuenca hasta Algete y 0.4 hasta Aranjuez.



**Foto 5.34** – El río Jarama recoge en su cabecera las aguas de un amplio sector del Sistema Central que le hace ser la arteria principal de la cuenca alta-media del Tajo.



**Foto 5.35** –En su tramo medio-bajo, el río Jarama desarrolla una amplia llanura de inundación jalonada de terrazas que compite en caudal con el propio río Tajo.

El río Jarama, con una longitud de 227.826 Km, tiene una pendiente más elevada en la mitad superior de la cuenca (11.72 m/Km) y disminuye en su parte baja (7.02 m/Km), presenta una red de drenaje de densidad 0.12 Km/Km<sup>2</sup>. El índice medio de bifurcación de canales oscila entre 2.25 hasta Algete y 2.7 hasta Aranjuez. El tiempo de concentración de la cuenca es de 27.89 horas en su parte alta y 47.65 horas para la cuenca completa. El caudal máximo diario más alto aforado entre los años 1911 y 1995 en el río Jarama es de 409 m<sup>3</sup>/seg en Algete y de 711.4 m<sup>3</sup>/seg en Aranjuez, en la confluencia del Jarama con el Tajo.

En la mitad superior de la cuenca afloran fundamentalmente rocas metamórficas e ígneas paleozoicas. En la mitad inferior de la cuenca predominan los depósitos detríticos neógenos y los sedimentos fluviales cuaternarios, de mayor permeabilidad. La cuenca, por tanto, es impermeable en cabecera y presenta mayor permeabilidad en su parte baja. La relación entre materiales impermeables y permeables en la cuenca completa es de 1.5. lo que supone un predominio de los primeros.

En esta cuenca la cubierta vegetal está formada por pinos, encinas, y otras especies arbóreas de caducifolias y frondosas. También hay zonas de cultivos agrícolas y matorral.

### 5.4.3.2. Subcuenca del Arroyo de la Vega

El arroyo de la Vega del Monte (*Figura V.22-Anexo V*) es un pequeño afluente del Jarama por su margen derecha. La cuenca de este arroyo, situada en la provincia de Madrid, en el término de Alcobendas, es una cuenca muy antropizada y la mayoría de su área está ocupada por construcciones e infraestructuras urbanas que se ha visto sometida en los últimos años a variaciones tan importantes como el “soterramiento” de algunos tramos de cauce a raíz, de la construcción de las nuevas pistas del aeropuerto de Barajas.

Esta cuenca tiene un área de 25 Km<sup>2</sup> presenta alturas entre 730 m en cabecera y 615 m en su desembocadura con el Jarama. La cuenca tiene pendientes muy suaves, siempre menores del 3%. La relación de relieve de la cuenca es de 14.286 m/Km. El arroyo de la Vega, con una longitud de 9 Km. y una pendiente de 11.7 m/Km., transcurre en dirección W-E y presenta una red de drenaje de densidad 0.84 Km/ Km<sup>2</sup> y un índice medio de bifurcación de canales de 3.57. La morfología de la cuenca es ligeramente elongada en dirección W-E, con un parámetro de forma de 0.70. El tiempo de concentración de esta cuenca es muy bajo, de 3.71 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el arroyo de la Vega en Alcobendas-Madrid (salida de la cuenca) entre los años 1978 y 1985 es de 1.07 m<sup>3</sup>/seg

Esta cuenca está constituida por materiales detríticos miocenos, de permeabilidad moderada a alta, aunque al ser una zona urbanizada la permeabilidad disminuye y en conjunto la cuenca presenta un umbral de escorrentía de 35.2 mm. La vegetación de esta cuenca está formada fundamentalmente por cultivos agrícolas y matorral. También existen algunas zonas con encinas y repoblación de pinos, brezo y pastizal.

### 5.4.3.3. Subcuenca del río Paeque

El río Paeque (*Figura V.23-Anexo V*) nace en las planicies de la rañade Mesanes y desemboca en el río Jarama a la altura de Algete. La cuenca de este río tiene un área de 34.61 Km<sup>2</sup>, presenta alturas entre 854 m en cabecera y 600 m y presenta pendientes muy suaves. Solo en la cabecera y cerca de la desembocadura tiene elevaciones moderadas y la relación de relieve de la cuenca es de 11.54 m/Km. El río Paeque, con una longitud de 23.5 Km y una pendiente de 10.81 m/Km, presenta una red de drenaje de densidad 1.5 Km/Km<sup>2</sup> y un índice medio de bifurcación de canales de 4.13. La morfología de la cuenca es ligeramente elongada en dirección N-SW, con un parámetro de forma de 0.30. El tiempo de concentración de la cuenca es de 7.81 horas.

El caudal máximo probable estimado para esta cuenca oscila entre 6.7 m<sup>3</sup>/seg para un período de retorno de 25 años y 23.8 m<sup>3</sup>/seg para un período de 500 años.



La mayoría de la cuenca se desarrolla sobre materiales terciarios y cuaternarios, que presentan una permeabilidad moderada a alta. De forma localizada aparecen depósitos de raña constituidos por ortoconglomerados con matriz arcillo-arenosa y arenas limo-arcillosas de origen endorreico, con menor grado de permeabilidad. En general la cuenca presenta una permeabilidad moderada a alta, con un umbral de escorrentía de 35.21 mm. Por último, la vegetación predominante en esta cuenca es el cultivo agrícola, plantaciones regulares de aprovechamiento forestal o repoblaciones más o menos espesas, matorral y pastizal.

#### 5.4.3.4. Subcuenca del río Manzanares

El río Manzanares (*Figura V.24-Anexo V*) nace en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central), donde domina un relieve abrupto y elevadas pendientes, pasando luego a tener escasa pendiente (*Foto 5.36 y Foto 5.37*). La cuenca tiene un área de 1240 Km<sup>2</sup> y presenta alturas entre 2262 m en cabecera y 600 m en su desembocadura. La cuenca tiene un relieve elevado en cabecera, con pendientes mayores del 3% y en el resto de la cuenca las pendientes son muy bajas. La relación de relieve de la cuenca es de 25.73 m/Km. Su morfología es elongada en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.615. El río Manzanares, con una longitud de 77 Km y una pendiente de 21.6 m/Km, y presenta una red de drenaje de densidad 0.302 Km/ Km<sup>2</sup> que se concentra sobre todo en la mitad superior de la cuenca, y un índice medio de bifurcación de canales de 7.36. El tiempo de concentración de la cuenca es de 16.88 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Manzanares en Rivas Vaciamadrid es de 170.65 m<sup>3</sup>/seg. entre los años 1912 y 1994.



**Foto 5.36** – El río Manzanares desarrolla gran parte de su recorrido en los relieves y pedimento granítico del Sistema Central.



**Foto 5.37** – El tramo bajo del Manzanares se encaja en arenas arcósicas de la cuenca de Madrid.

En esta cuenca tenemos una diferenciación muy clara entre las litologías de la zona de cabecera, ocupada fundamentalmente por granitos y gneises, con baja capacidad de infiltración, y el resto de la cuenca que presenta litologías con permeabilidades moderadas a altas. Una extensión importante de esta parte de la cuenca está ocupada por embalses. La alta permeabilidad de los materiales en la parte baja de la cuenca disminuye debido a las infraestructuras y zonas urbanizadas de la ciudad de Madrid y en conjunto la cuenca presenta un umbral de escorrentía de 39.07 mm. La cuenca del Manzanares tiene una vegetación, sobre todo en su parte alta, compuesta por repoblación de coníferas, pinos y encinas, también aparecen zonas con cultivos agrícolas, garriga y matorral. En la desembocadura de la cuenca hay pequeñas extensiones con tomillar y pastizal.

#### 5.4.3.5. Subcuenca del río Tajuña

El río Tajuña nace en las zonas altas intermedias entre el límite NE del Sistema Central y la Serranía de Cuenca (*Figura V.25-Anexo V*). Este río transcurre básicamente por la zona de la Alcarria, atravesando la parte más elevada de esta región, hasta desembocar en el río Jarama.

La cuenca se ha cerrado para su estudio en Orusco (provincia de Guadalajara), aproximadamente en la mitad de su recorrido. Hasta este punto la cuenca del Tajuña tiene un área de 2029 Km<sup>2</sup> y presenta alturas entre 1364 m en cabecera y 649 m en la cerrada de la cuenca en Orusco. La cuenca tiene un relieve elevado, la mayoría de las pendientes superan el 3% y esto es general en toda la cuenca, no disminuyendo demasiado estas pendientes al llegar a la zona de desagüe considerada. La relación de relieve es de 5.8 m/Km. Su morfología es elongada en dirección NE-S, con un parámetro de forma de 0.41 (*Foto 5.38*).



**Foto 5.38** – El valle del Tajuña presenta una morfología peculiar de amplio valle plano encajado en el páramo calcáreo de Guadalajara.

El río Tajuña, con una longitud de 150 Km y una pendiente de 4.03 m/Km, presenta una red de drenaje de densidad 0.41 Km/ Km<sup>2</sup>. En la mitad superior, la red de drenaje está peor estructurada encajada en materiales karstificados. El índice medio de bifurcación de canales es de 14.34. El tiempo de concentración de la cuenca es de 38.54 horas. El caudal máximo diario más alto aforado en el río Tajuña en Orusco entre los años 1915 y 1994 es de 112.6 m<sup>3</sup>/seg (*Foto 5.39*).



**Foto 5.39** – Sus características de cuenca estrecha y sin afluentes condicionan su escaso caudal, como se observa en la estación de aforo de Orusco.



En la mitad superior de la cuenca afloran fundamentalmente materiales mesozoicos y paleozoicos (Ordovícico). Sobre estas litologías se desarrollan suelos poco potentes y con baja capacidad de infiltración, aunque las estructuras karstificadas presentes en esta parte superior de la cuenca aumentan la infiltración. En cambio en la mitad inferior de la cuenca afloran materiales con mayor permeabilidad, representados por litologías miocenas y paleógenas. El umbral de escorrentía de esta cuenca es de 53.27 mm., es la cuenca que presenta mayor capacidad de infiltración de las cuencas estudiadas. En esta cuenca existe una cubierta vegetal formada por cultivos agrícolas alternando con pinos, encinas y matorral. En algunas zonas crecen también la garriga, el cespced denso y otras herbáceas.

#### 5.4.3.6. Subcuenca del río Perales

El río Perales (*Figura V.26-Anexo V*), es afluente de segundo orden del Tajo, a través del río Alberche (*Foto 5.40 y Foto 5.41*). El río Perales forma una cuenca de 1122.9 Km<sup>2</sup> que presenta alturas máximas de 1400 m. y mínimas de 400 m. Las pendientes son muy pronunciadas en la mitad superior de la cuenca, especialmente en la cabecera, la relación de relieve es muy alta, de 26.18 m/Km. El río Perales tiene una longitud de 34.36 Km. y una pendiente de 14.55 m/Km, transcurre en dirección N-SW, y presenta una red de drenaje de escasa densidad (0.061 Km/Km<sup>2</sup>), y una densidad de corrientes también muy baja (0.087 Nc/Km). El índice medio de bifurcación de canales es 2. La cuenca tiene una morfología muy redondeada, ligeramente alargada en dirección N-S, con un parámetro de forma de 0.99. El tiempo de concentración de esta cuenca es de 9.85 horas. El caudal máximo más alto aforado en el río Perales en Villamantilla (Madrid) es de 79.66 m<sup>3</sup>/seg. entre los años 1968 y 1992.



**Foto 5.40** – Plataforma de aforo sobre el río Perales y desarrollo de un canal arenoso trenzado.



**Foto 5.41** – Cabecera granítica del río Perales.

La mitad superior de la cuenca del río Perales está constituida por granitoides biotíticos. Estos materiales son impermeables, en contraste, la mitad inferior de la cuenca está ocupada por materiales neógenos y cuaternarios de permeabilidad moderada a alta. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 0.82. lo que indica una permeabilidad moderada de la cuenca. La vegetación más abundante en esta cuenca es el cultivo agrícola, la encina y la repoblación de pinos. Con esta cubierta alternan también el romeral, el matorral y el pastizal.

#### **5.4.3.7. Subcuenca del río Martín Román**

El río Martín Román (*Figura V.27-Anexo V*) es afluente del río Algodor, que a su vez desemboca en el río Tajo por su margen izquierda. La cuenca del Martín Román tiene un área de 1295.3 Km<sup>2</sup> y unos relieves muy suaves, con escasas pendientes, variando las alturas entre los 800 m y los 500 m y con una relación de relieve de 4.37 m/Km. Su morfología es bastante redondeada, ligeramente elongada en dirección E-W, con un parámetro de forma de 0.59. El río Martín Román, con una longitud de 65.35 Km y una pendiente de 3.06 m/Km, presenta una red de

drenaje de densidad  $0.11 \text{ Km/ Km}^2$  y una densidad de corrientes de  $0.05 \text{ Nc/Km}$ . El índice medio de bifurcación de canales de 1 y el tiempo de concentración de la cuenca es de 21.6 horas. El río Martín Román registra, a la salida de su cuenca, hasta  $11.49 \text{ m}^3/\text{seg}$  de caudal máximo diario, entre los años 1971 y 1992.

En esta cuenca afloran materiales neógenos y cuaternarios, casi exclusivamente, Lo que da a la cuenca una permeabilidad moderada a alta. La relación entre materiales impermeables y permeables es de 0.43.

La cuenca del Martín Román tiene una cubierta vegetal formada fundamentalmente por pinos, encinas, pastizal y matorral y cultivos agrícolas. En algunas zonas también alterna con esta vegetación el roble y especies de frondosas.

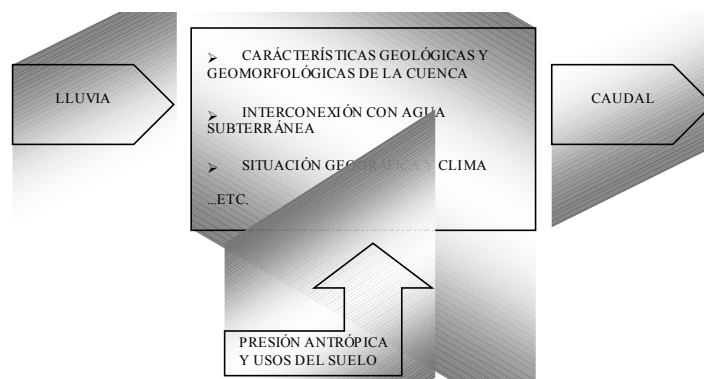
A continuación se van a analizar las relaciones existentes entre las características geomorfológicas de las cuencas aquí descritas, las precipitaciones y la generación de caudales máximos de avenida.

## 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS RELACIONES DE LOS CAUDALES DE AVENIDA CON LA GEOMORFOLOGÍA Y LA PRECIPITACIÓN

### 6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez analizadas las relaciones entre las inundaciones, las precipitaciones y sus condicionantes atmosféricos, se pretende profundizar más en el conocimiento de las otras causas y factores que controlan la generación de caudales de avenida. En este apartado se desarrollarán análisis estadísticos de correlación y regresión que relacionen los caudales de avenida no solo con la precipitación sino también con los parámetros físicos o morfológicos de las subcuencas hidrográficas seleccionadas. Estos modelos estadísticos podrían clasificarse también como modelos hidrológicos estocásticos, pero se han separado en capítulo aparte debido a su complejidad y a la combinación con otro tipo de factores como son los geomorfológicos.

Si se asimila una cuenca fluvial a un sistema abierto, las entradas al sistema estarán constituidas fundamentalmente por la precipitación caída sobre la cuenca, determinada por las características climáticas del área, y las salidas estarán representadas por el caudal registrado en el punto de desagüe de la cuenca. La relación entre entradas y salidas no es directa (*Figura 6.1*) debido a la influencia de las características intrínsecas de la cuenca como su relieve, las características del suelo y su permeabilidad, la morfología y distribución de la red de drenaje, la cubierta vegetal, la interconexión con el agua subterránea, su situación geográfica y características climáticas, etc. y a otros condicionantes externos como los usos del suelo, la construcción de infraestructuras hidráulicas u otras influencias antrópicas.



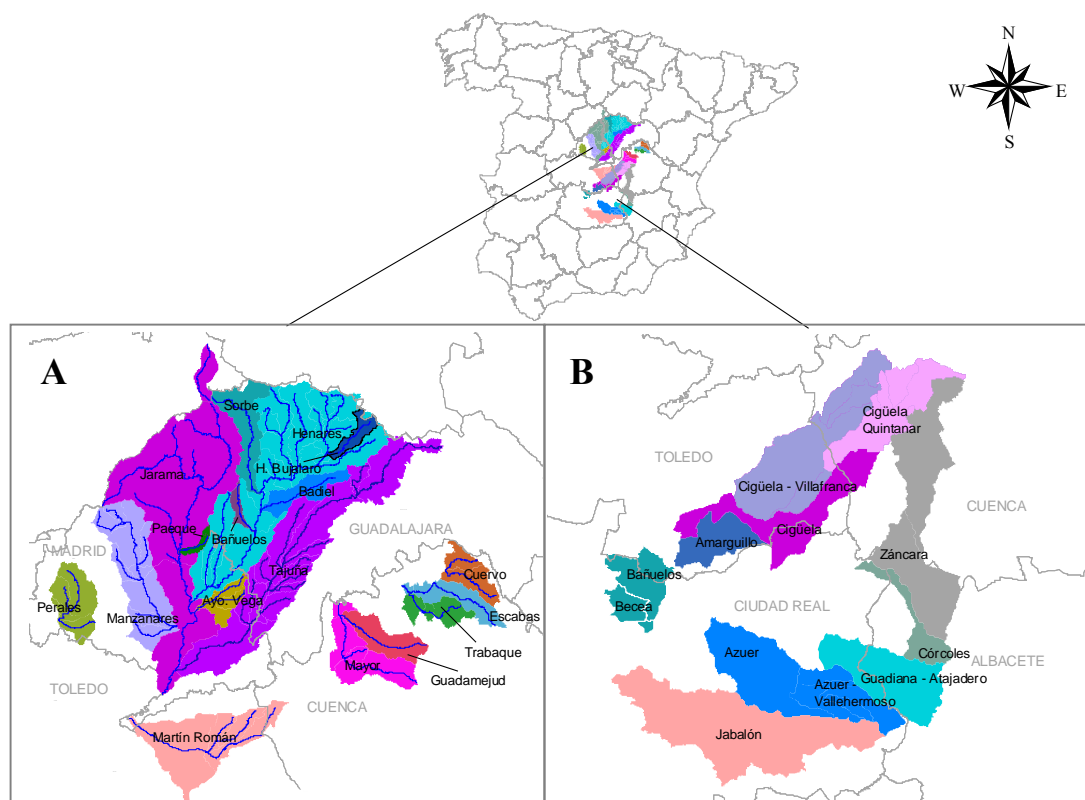
**Figura 6.1** - La cuenca hidrográfica como sistema abierto

Cada cuenca tendrá un funcionamiento distinto en función de todas estas características. Como ya se ha ido viendo en los capítulos anteriores, entre las cuencas del centro peninsular existen diferencias claras en cuanto al registro de precipitaciones e inundaciones, pero el comportamiento de cada cuenca frente a las inundaciones no se define únicamente con la determinación de las relaciones y variaciones espacio-temporales de las inundaciones y las precipitaciones. Se ha visto que ciertas características climáticas determinan la ocurrencia de lluvias intensas, provocando o favoreciendo las inundaciones, pero en la dinámica fluvial intervienen muchos otros parámetros.

Con este estudio se pretende profundizar en los distintos comportamientos de las cuencas hidrológicas en cuanto a la generación de caudales de avenida a través del análisis de las interrelaciones existentes entre estos caudales y los parámetros físicos que caracterizan a cada cuenca y que determinan las salidas del sistema. Otro de los objetivos de esta aproximación es ver que parámetros morfológicos de la cuenca influyen en las avenidas además de la precipitación y con ello la posibilidad de predecir que factores son dominantes y cuales son las analogías y diferencias entre las diferentes cuencas de la zona estudiada. Aunque se parte de la convicción de la inconsistencia de tratar de establecer ecuaciones generales de cuenca, se pretende ver hasta que punto pueden establecerse relaciones entre las características locales, si las cuencas son comparables entre si y que parámetros son más significativos.

Por otra parte se establecerá, mediante un modelo de regresión múltiple (*Escalante y Reyes, 1998*), cuales de estas características físicas de la cuenca son determinantes en la generación del caudal. Por último, la validación de este modelo de regresión permitirá establecer una formulación o método de cálculo para la estimación de caudales máximos de avenida, que puede servir de complemento a otros métodos hidrológicos e hidrometeorológicos ya existentes para un mejor conocimiento del funcionamiento de las cuencas fluviales, teniendo en cuenta la integración de factores geomorfológicos, litológicos y climáticos.

Para los análisis estadísticos, por una parte se ha realizado un análisis de correlación, aplicando el método de Pearson (*SQG, 1995*), y por otra parte se ha desarrollado un modelo de regresión múltiple, que consiste en determinar la relación existente entre una variable dependiente, que en este caso es el caudal máximo, y una serie de variables independientes, que serían el resto de parámetros físicos de las cuencas y la precipitación. Una vez determinada esta relación, se establece una formulación que permite estimar el valor de la variable dependiente conociendo el valor de las variables independientes.



**Figura 6.2** - Esquema de situación de las subcuencas hidrográficas analizadas A) en la cuenca del río Tago y B) en la del Guadiana

De las 31 subcuencas hidrográficas seleccionadas para este estudio (*Figura 6.2*), 19 pertenecen a la cuenca alta del Tago y 12 a la cuenca alta del Guadiana. Los criterios de selección de estas subcuencas se han basado, fundamentalmente, en la disponibilidad de datos de caudal aforado y precipitación y en la existencia de registros históricos de inundaciones.

Se han delimitado las subcuencas hasta los puntos de aforo de caudal disponibles y se han descrito sus características en base a estudios de campo y cartografía topográfica, geológica, de cubierta forestal y de cultivos y aprovechamiento (*ver capítulo 5*). De cada cuenca se han obtenido los datos de caudal máximo diario aforado, los datos de precipitación máxima diaria y de permeabilidad de las cuencas.

Se han medido, además, una serie de parámetros morfológicos, geométricos y de relieve de la cuenca y de la red de drenaje, como son la relación de relieve, la amplitud de relieve y el área de la cuenca, la longitud y pendiente del cauce principal, el índice de elongación de la cuenca, la densidad de cauces y la densidad de drenaje, el orden del cauce principal, el índice medio de bifurcación de cauces y el tiempo de concentración de la cuenca.

Debido a la limitada disponibilidad de datos de caudal y teniendo en cuenta la necesidad de que la muestra de subcuencas sea amplia para su análisis estadístico, las cuencas seleccionadas pueden presentar problemas de heterogeneidad en su tamaño, lo que puede interferir en la comparación de resultados. Sin embargo, esta variabilidad permitirá por otro lado reflejar los comportamientos de las distintas cuencas frente a las avenidas.

## 6.2. CÁLCULO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

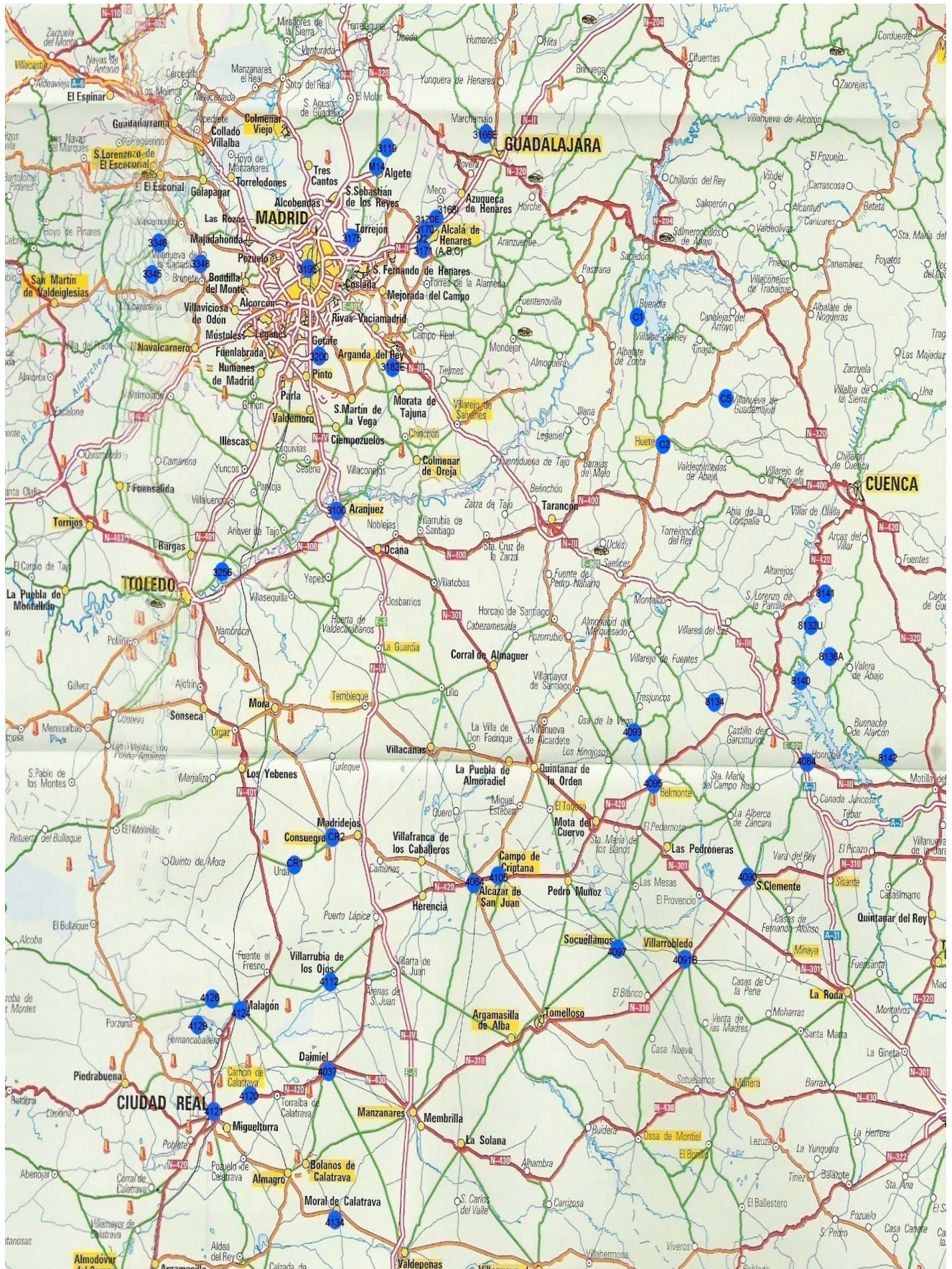
### 6.2.1. LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA

Se han analizado las series de precipitación máxima diaria, registrada cada año desde 1945 hasta la actualidad, a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.). Las estaciones meteorológicas se han seleccionado siguiendo criterios de proximidad a las cuencas de estudio y de calidad y continuidad en la serie de datos (*Figura 6.3 y Tabla 6.1*)

En cada cuenca se han calculado las máximas precipitaciones esperables para períodos de retorno de 10, 25, 100 y 500 años, aplicando a las series de precipitación máxima diaria distintas funciones de distribución combinadas con métodos de ajuste probabilísticos. Las funciones de distribución combinadas con ajustes probabilísticos consisten en la asignación de probabilidades máximas de no excedencia a un valor estimado de la variable (caudal o precipitación), para períodos de retorno determinados. Las funciones de distribución seleccionadas en este estudio (Valores Extremos Generalizados-GEV y SQRT\_max) son las más adecuadas para el análisis de valores extremos de precipitación y caudal, teniendo en cuenta que en el estudio de avenidas se parte de la hipótesis más desfavorables, es decir, suponer que ocurre la máxima precipitación esperable y la crecida máxima.

Por otra parte, el método de ajuste probabilístico de momentos ponderados elegido, confiere mayor peso a los valores mayores de la serie, por lo que es también adecuado a la hora de estudiar los caudales de avenida y las precipitaciones máximas. Existen diversos programas informáticos para realizar estas operaciones, en nuestro caso se ha utilizado el programa LEYES (*Golden Software, 1989*) proporcionado por el CEDEX.





**Figura 6.3** – Situación de las estaciones meteorológicas analizadas en este capítulo.



INDICATIVO	NOMBRE_ESTACIÓN	PROVINCIA	SUBCUENCAS
4091B	Villarrobledo-2	ALBACETE	Záncara; Guadiana, Córcoles
CR1	Urda	CIUDAD REAL	Amarguillo
CR2	Consuegra	CIUDAD REAL	Amarguillo
4037	Daimiel	CIUDAD REAL	Azuér
4129	Pantano Gasset	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4126	Cristo del Espíritu Santo	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4124	Malagón	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4064	Alcázar de San Juan	CIUDAD REAL	Cigüela
4112	Villarrubia de los Ojos	CIUDAD REAL	Cigüela; Amarguillo
4097	Socuéllamos	CIUDAD REAL	Córcoles
4121	Ciudad Real-Escuela Magisterio	CIUDAD REAL	Guadiana
4134	Alcolea de Calatrava	CIUDAD REAL	Jabalón
4120	Carrión de Calatrava	CIUDAD REAL	Jabalón
4105	Campo de Criptana	CIUDAD REAL	Záncara
C1	Buendía	CUENCA	Cuervo; Escabas; Trabaque
C2	Huete	CUENCA	Escabas; Trabaque; Mayor; Guadamejud
8142	Valverdejo	CUENCA	Cuervo; Escabas; Trabaque
8136A	Valverde del Júcar	CUENCA	Cuervo; Escabas; Trabaque
C5	Villanueva de Guadamejud	CUENCA	Mayor; Guadamejud
8141	Gabaldón	CUENCA	Cuervo; Escabas; Trabaque
8134	Piqueras del Castillo	CUENCA	Tajuña
8140	Pantano de Alarcón	CUENCA	Tajuña; Cuervo; Escabas; Trabaque
4095	Belmonte	CUENCA	Záncara
4090	San Clemente	CUENCA	Záncara
4093	Osa de la Vega	CUENCA	Záncara
8132U	Albadalejo Cuende	CUENCA	Záncara
4084	Honrubia	CUENCA	Záncara
3175	Torrejón	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Arroyo de la Vega
M2	Alcalá-Canaleja	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3168I	Cabanillas	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3171A	Alcalá-Campo del Ángel	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3171B	Alcalá-depuradora aguas	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3171C	Alcacá-cereal y cultura	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3170E	Alcalá-campo experimental	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3171	Alcalá-base aérea	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3170	Alcalá-Encino	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Henares
3166E	Marchamalo	MADRID	Jarama
3100	Aranjuez colegio	MADRID	Jarama
3200	Getafe-base aérea	MADRID	Jarama
3195	Madrid Retiro	MADRID	Manzanares
M14	Algete	MADRID	Paeque; Jarama
3119	Fuente el Saz-Jarama	MADRID	Paeque; Sorbe; Jarama
3348	Villanueva de Perales	MADRID	Perales
3345	Villamanta	MADRID	Perales
3346	Navalagamella-Molinillos	MADRID	Perales
3182E	Arganda-comunidad	MADRID	Tajuña; Jarama
3256	Mocejón de la Sagra	TOLEDO	Martín Román

Tabla 6.1 - Estaciones meteorológicas en las subcuencas estudiadas

Las funciones de distribución y los métodos de ajuste se basan en la Ley de Probabilidad, en la que la probabilidad de ocurrencia de un evento está en función del inverso del tiempo de recurrencia ( $P=1-1/T$ ). Las funciones de distribución consisten en el cálculo, a partir de las frecuencias acumuladas de una variable, de la probabilidad de no excedencia respecto a un valor  $X$  de dicha variable, o probabilidad de que una variable aleatoria  $Y$  esté por debajo de dicho valor  $X$ , según la expresión  $F_X(X) = P(Y \leq X)$

Estos ajustes permiten estimar, aplicando funciones de distribución de frecuencias a una serie de datos de partida, un valor único de precipitación o caudal para cada período de retorno, que tendrá asociado una probabilidad de no ser superado, es decir que se considerará como límite máximo.

Se deben utilizar los modelos de ajuste probabilístico que arrojen los valores máximos, pero también que se adecuen al tipo de distribución de la serie, para ello se puede comprobar gráficamente el ajuste de la curva de probabilidades a la nube de puntos que forman los datos de partida (Figura 6.4). En el caso de este estudio los métodos de ajuste que cumplen estas características son GEV\_momentos ponderados y SQRT\_max.

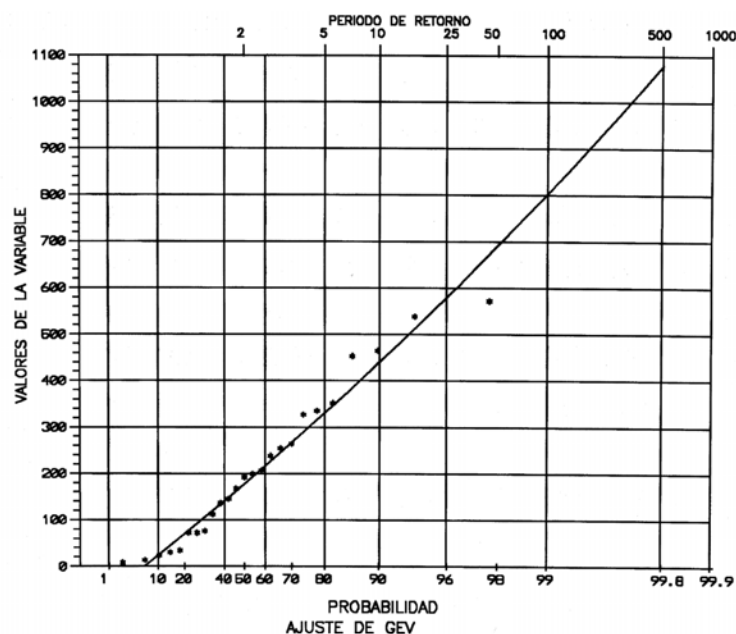


Figura 6.4 - Ejemplo de gráfico de ajuste GEV\_momentos ponderados

Por tanto, de todos los ajustes realizados se han seleccionado para este estudio los resultados obtenidos mediante el método GEV\_momentos ponderados y SQRT\_max, por ser los ajustes que arrojan los valores de precipitación máxima probable más altos y por ser los que presentan un mejor ajuste gráfico de la curva de probabilidades a la distribución de los datos de partida. En el caso de la función de distribución de valores extremos generalizados (GEV) en una de las más utilizadas actualmente (WMO, 1989; Ferrer, 1992 y Díez Herrero, 2002).

A partir de estas precipitaciones máximas probables obtenidas en cada estación, se ha estimado una precipitación máxima areal para cada cuenca (*Tabla 6.2a y b*) mediante polígonos de Thiessen, cuando el número de estaciones es suficiente, o bien mediante la media aritmética de las estaciones de influencia. Las cuencas más próximas entre sí comparten estaciones meteorológicas y por tanto, presentan valores similares de precipitación areal.

### SUBCUENCAS DEL GUADIANA

SUBCUENCAS	10 años		25 años		100 años		500 años	
	SQRT	GEV	SQRT	GEV	SQRT	GEV	SQRT	GEV
Amarguillo	53,2	53	66,2	63,8	87,7	78,4	116,2	94,2
Azuer-Daimiel	54	53	68	66	90	90	119	126
Azuer-Vallehermoso								
Bañuelos	68	61	87,7	75	120	96	163	125,3
Becea								
Cigüela-Buenavista	52	52	64	68	84	100	110,5	161,5
Cigüela-Quintanar								
Cigüela-Villafranca								
Córcoles	58	58	69	69	84	84	101	101
Guadiana-Atajadero	50	45	63	57	86	77	116	107
Jabalón	53	55	64	69	81	95	104	137
Záncara	63,9	60,7	80,6	73,9	108,8	95,7	146	124,9

**Tabla 6.2a** - Precipitación máxima areal en mm. para periodos de retorno de 10, 25, 100 y 500 años obtenida a partir de los ajustes SQRT\_max y GEV\_momentos ponderados

### SUBCUENCAS DEL TAJO

SUBCUENCAS	10 años		25 años		100 años		500 años	
	SQRT	GEV	SQRT	GEV	SQRT	GEV	SQRT	GEV
Arroyo Vega-Alcobendas	49,3	48,2	59,9	57,9	78,1	72,2	101,1	90,2
Badiel	48,3	47,4	59,2	54,9	76,9	65,4	100,2	76,9
Bañuelos								
Cuervo	55	56	66	70	85	97	109	140
Escabas								
Guadamejud	63,9	60,7	80,6	73,9	108,8	95,7	146	124,9
Henares-cabecera	48	47	59	55	77	65	100	77
Henares-Espinillo	49	49	50,9	57	65,4	68	76,9	80
Jarama-Algete	54	52	60	64	74	82	92	106
Jarama-Aranjuez								
Manzanares-El Pardo	52	46	66	56	90	73	122	97
Manzanares-Vaciamadrid								
Martín Román	42	42	51	49	66	58	84	68
Mayor	63,9	60,7	80,6	73,9	108,8	95,7	146	124,9
Paeque	51	50	61	60	79	74	101	92
Perales	53,7	51,2	66,6	60,8	88	75	116,8	91,4
Sorbe	51	50	61	60	79	74	101	92
Tajuña	68	64	89	82	125	111	171	152
Trabaque	55	56	66	70	85	97	109	140

**Tabla 6.2b** - Precipitación máxima areal en mm. para periodos de retorno de 10, 25, 100 y 500 años obtenida a partir de los ajustes SQRT\_max y GEV\_momentos ponderados (continuación)

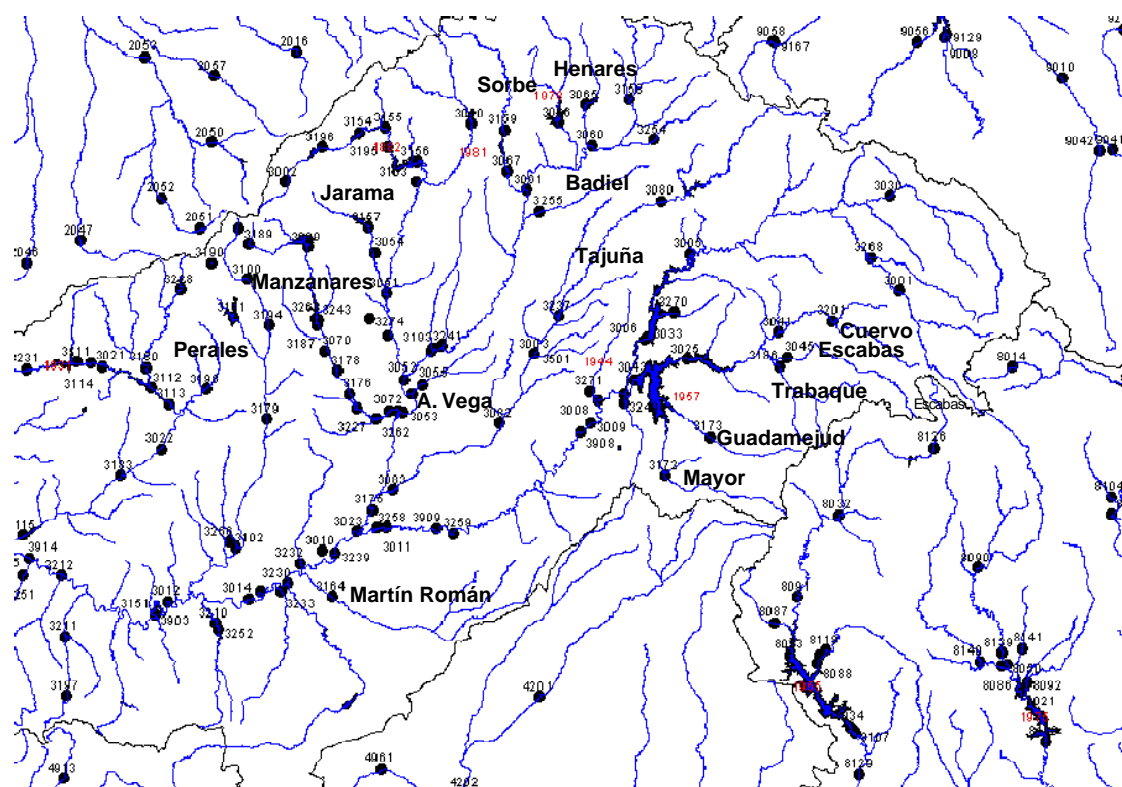
### 6.2.2. CAUDALES MÁXIMOS AFORADOS

En cada una de las subcuencas de estudio se han seleccionado los caudales máximos anuales a partir de las series de caudales máximos diarios aforados desde 1911 hasta la actualidad (*Tabla 6.3 y Figura 6.5*), proporcionados por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Aunque la longitud de las series varía en cada estación de aforos, en todos los casos constituyen series suficientemente largas para su tratamiento, de al menos 10 años de registro. Los criterios seguidos para la selección de estas series de caudal han sido los siguientes:

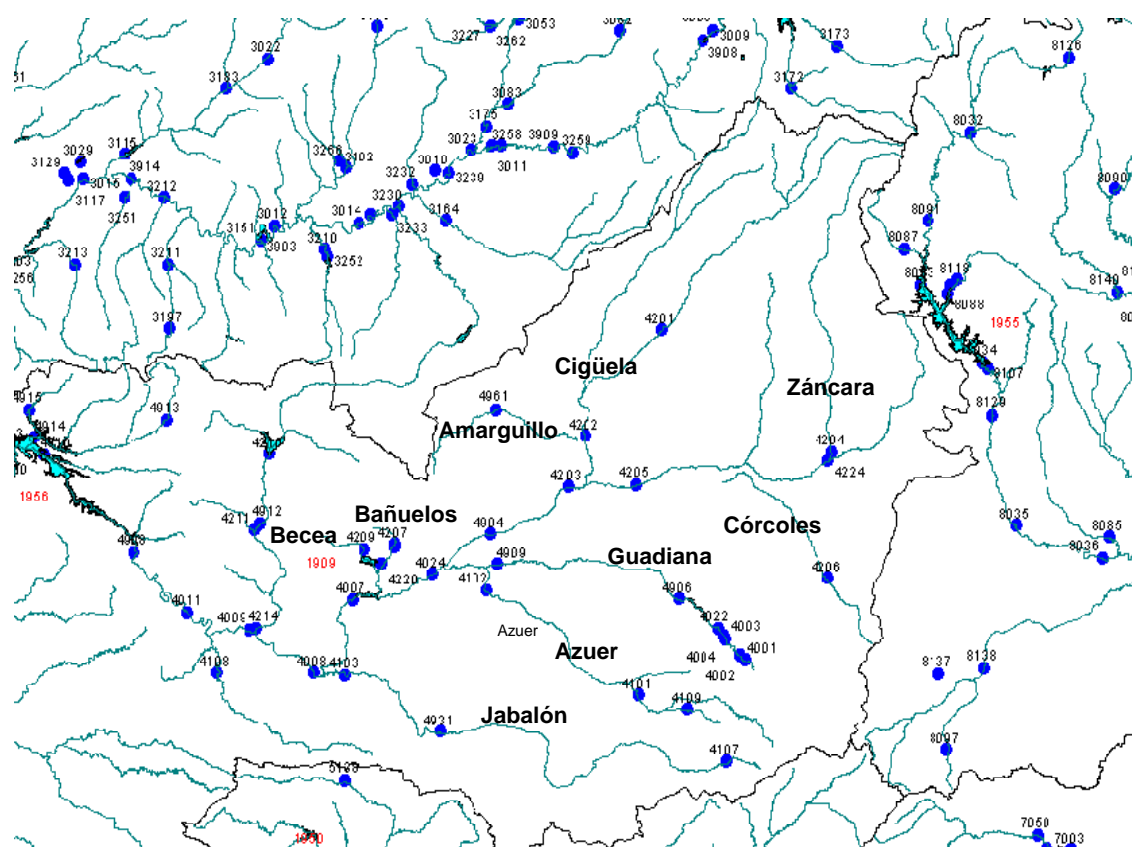
Se han escogido las series más completas y continuas de caudal máximo diario. Las series de caudales instantáneos suelen ser muy incompletas y de escasa longitud, o no están disponibles en todas las estaciones de aforo, por lo que en este caso se han descartado como dato de partida. En la mayoría de los casos se han considerado las cuencas aguas arriba de embalses (no reguladas), y si existe un embalse u obra de regulación, los datos de caudal utilizados corresponden a fechas anteriores a su construcción. Cuando existen, se han utilizado las series de caudal revisadas y completadas por el CEDEX, a partir del estudio de las curvas de aportaciones y utilizando diversos métodos hidrológicos y estadísticos de completado de datos.

Los caudales máximos obtenidos a partir de las series de aforo se han ajustado mediante distintos métodos probabilísticos, siguiendo la misma metodología aplicada al ajuste de precipitaciones máximas. De esta forma se han obtenido los caudales máximos probables para cada subcuenca y para períodos de retorno de 10, 25, 100 y 500 años. De todos los ajustes realizados se han seleccionado para el análisis estadístico los resultados obtenidos mediante el método GEV\_momentos ponderados (*Tabla 6.4a y b*) por ser el ajuste que ofrece los valores de caudal máximo probable más altos y el mejor resultado gráfico. Además, como ya se dijo en el apartado anterior, la función de distribución de valores extremos generalizados (GEV) es una de las más utilizadas actualmente. Los resultados gráficos de estos ajustes aparecen recogidos en el *Anexo VI*.

Las especificaciones sobre las distintas funciones de distribución combinadas con ajustes probabilísticos y sus límites de aplicación se detallaron en el apartado anterior, al hablar del ajuste de precipitaciones máximas. El tratamiento de los datos de caudal y precipitación en cuanto a su ajuste probabilístico es similar, como ya se ha mencionado.



Red de aforos en la cuenca alta del Tajo



Red de aforos en la cuenca alta del Guadiana

Figura 6.5 - Esquemas de situación de los puntos de aforo existentes en las subcuencas estudiadas.

CUENCAS	Nº ESTACIÓN	SUBCUENCAS	AÑOS DE REGISTRO
TAJO	3274	Arroyo de la Vega	1978-1985
	3255	Badiel	1978-2000
	3062	Henares (Alcalá Henares-Espinillo)	1929-1995
	3201	Cuervo	1965-1986
	3045	Escabas	1911-2000
	3173	Guadamejud	1965-2000
	3060	Henares cabecera (Bujalaro)	1912-2000
	3172	Mayor	1965-2000
	3187	Manzanares (El Pardo)	1979-1999
	3177	Manzanares (Vaciamadrid)	1912-1994
	3164	Martín Román	1971-1992
	3051	Jarama (Algete)	1913-1994
	3011/3175	Tajo-Jarama (Aranjuez)	1911-1995
	3198	Perales	1968-1992
	3067	Sorbe	1913-2000
	3082	Tajuña	1915-1994
	3186	Trabaque	1968-2000
GUADIANA	4102	Azuer (Daimiel)	1948-1990
	4101	Azuer (Vallehermoso)	1913-1995
	4209	Becea	1919-1995
	4207	Bañuelos (Malagón)	1920-1995
	4203	Cigüela (Buenavista)	1946-1995
	4202	Cigüela (Quintanar Orden)	1948-1995
	4201	Cigüela (Villafranca)	1920-1942
	4206	Córcoles	1922-1983
	4906	Guadiana (Atajadero)	1912-1946
	4103	Jabalón	1949-1995
	4204	Záncara	1923-1974

**Tabla 6.3** - Estaciones de aforo y años de registro de caudales máximos diarios en las subcuencas estudiadas

### SUBCUENCAS DEL GUADIANA

SUBCUENCAS	Q 10	Q 25	Q 100	Q 500	Tamaño subcuenca
Azuer-Daimiel	6	9	16	28	1699
Azuer-Vallehermoso	10	18	40	94	470
Bañuelos	24	42	87	192	312
Becea	19	35	80	199	123
Cigüela-Buenavista	27	35	48	63	3600
Cigüela-Quintanar	14	20	33	55	995
Cigüela-Villafranca	17	24	34	49	3367
Córcoles	2	4	8	17	92
Guadiana-Atajadero	12	16	22	31	1107
Jabalón	63	93	149	237	2389
Záncara	20	27	39	55	906

**Tabla 6.4a** - Caudales máximos probables ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) obtenidos mediante ajuste GEV\_ momentos ponderados para los diferentes períodos de retorno, y extensión de las subcuencas estudiadas

### SUBCUENCAS DEL TAJO

SUBCUENCAS	Q 10	Q 25	Q 100	Q 500	Tamaño subcuenca
Arroyo Vega-Alcobendas	1	1	2	2	25
Badiel	3	5	14	42	325,4
Bañuelos	1,7	2,3	3,2	4,3	16
Cuervo	13	22	48	126	350,8
Escabas	66	82	103	126	341,7
Guadamejud	9	14	25	46	399,98
Henares-cabecera	116	156	223	312	1285
Henares-Espinillo	438	580	802	1080	3999,3
Jarama-Algete	182	281	495	895	2598,5
Jarama-Aranjuez	265	419	814	1729	3581,7
Manzanares-El Pardo	74	119	221	420	537
Manzanares-Vaciamadrid	124	164	235	337	1240
Martín Román	10	13	16	20	1295,3
Mayor	9	13	23	39	419,8
Paeque	2,6	4	7	12,6	34,6
Perales	58	80,5	121	179	1122,9
Sorbe	94	122	169	231	439
Tajuña	58	86	143	242	2029
Trabaque	18	27	47	83	217,5

**Tabla 6.4b** - Caudales máximos probables ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) obtenidos mediante ajuste GEV\_momentos ponderados para los diferentes períodos de retorno, y extensión de las subcuencas estudiadas (continuación)

### 6.2.3. PERMEABILIDAD DE LA CUENCA

A partir de la información geológica (IGME 1971, 1972, 2002), se han analizado las distintas litologías (*Anexo V*) y estimado la permeabilidad de cada subcuenca, midiendo la relación existente entre el porcentaje de litologías impermeables y permeables, según la porosidad eficaz media característica de cada uno de los materiales geológicos (*Tabla 6.5*). A esta medida de permeabilidad de las cuencas se le ha denominado *limper*, de forma que, cuanto mayor es el parámetro *limper*, la cuenca es más impermeable, es decir, es mayor el porcentaje de materiales impermeables frente a los permeables (*Tabla 6.6*).

El término permeabilidad se utiliza aquí únicamente en el sentido de la capacidad que tendrá la cuenca para retener el agua procedente de la precipitación y que, por tanto, no pasará a formar parte de la escorrentía superficial. Es por ello que para la estimación del parámetro *limper*, y para la escala de trabajo considerada, solo se han tomado de referencia los valores de porosidad eficaz, aunque el concepto físico de permeabilidad esté relacionado no solo con la porosidad propia del material, si no también con propiedades físicas del agua, como la viscosidad o el peso específico.

Material		Porosidad eficaz media (%)
Clasificación	Descripción	
Roca masiva	Granito	<0,2
	Caliza masiva	<0,5
	Dolomía	<0,5
Rocas metamórficas		<0,5
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	<5
	Escorias	20
	Pumitas	<5
	Basaltos masivos, fonolitas	<1
	Basaltos vacuolares	5
Rocas sedimentarias consolidadas	Pizarras sedimentarias	<2
	Areniscas	10
	Creta blanda	1
	Caliza detrítica	3
Rocas sedimentarias no consolidadas	Aluviones	15
	Dunas	20
	Gravas	25
	Loess	<5
	Arenas	25
	Depósitos glaciares	15
	Limos	10
	Arcillas sin compactar	2
	Cubierta edáfica superior	10

**Tabla 6.5-** Porosidad eficaz de distintos materiales geológicos. Fuentes de datos: Johnson (1967), Davis (1969), Schoeller (1962), Muskat (1937), Meinzer (1923)

Parámetros	SUBCUENCAS GUADIANA											
	Amarguillo	Azuar-Daimiel	Azuar-Vallehermoso	Bañuelos	Becea	Cigüela-Buenvista	Cigüela-Quintanar	Cigüela-Villafraña	Córcoles	Guadiana-Atajadero	Jabalón	Záncara
limper	2,3	2,33	1,86	9	9	0,25	0,54	0,43	3	5,7	1,5	0,25

Parámetros	SUBCUENCAS TAJO																	
	A. Vega-Alcobendas	Badiel	Bañuelos	Cuervo	Escabas	Guadamejud	Henares-cabecera	Henares-Espinillo	Jarama-Algete	Jarama-Aranjuez	Manzanares-El Pardo	Manzanares-Vaciamadrid	Martín Román	Mayor	Paeque	Perales	Sorbe	Tajuña
limper	1	0,1	1	1,5	1	0,1	3	0,54	2,33	1,5	1,5	2,33	0,43	0,1	0,25	0,82	2,33	0,25
																		1,22

**Tabla 6.6** – Permeabilidad de las subcuencas del Guadiana y el Tajo



#### 6.2.4. PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS Y DE LA RED DE DRENAJE

En cada una de las 31 subcuencas seleccionadas se han medido una serie de parámetros morfológicos, geométricos y de relieve. La descripción de cada uno de estos parámetros, así como la forma de obtenerlos, los resultados obtenidos y las fuentes cartográficas utilizadas, se detallaban en el *apartado* 5.2. Recordamos aquí solamente los parámetros que se han utilizado en el análisis estadístico:

*Geometría de la cuenca:*

- Área de la cuenca
- Longitud de la cuenca
- Forma de la cuenca (índice de elongación)

*Geometría y jerarquización de la red de drenaje:*

- Longitud del cauce principal
- Densidad de cauces
- Densidad de drenaje
- Orden del cauce principal
- Índice medio de bifurcación de cauces

*Parámetros de relieve de la cuenca y red de drenaje*

- Amplitud de relieve
- Relación de relieve
- Pendiente media del cauce principal

*Otros parámetros morfológicos:*

- Tiempo de concentración de la cuenca

Los resultados de los parámetros analizados se resumen en las *Tabla 6.7* y *Tabla 6.8*

## SUBCUENCAS DEL RÍO GUADIANA

SUBCUENCAS	Relación relieve (m/Km)	Cota máxima cuenca (m)	Cota máxima cauce (m)	Cota mínima (m)	Amplitud relieve (m)	Área cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud cuenca (Km)	Longitud cauce principal (Km)	Pendiente cauce principal (m/Km)	Índice de elongación	Densidad cauces (Nc/Km)	Densidad drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Orden cauce principal	Tc (horas)	limper	Índice bifurcación
Amarguillo	21,56	1117	1117	620	497	154,44	40,2	25,125	19,78	0,6	0,12	0,16	4	7,33	2,3	4,16
Azuer-Daimiel	4,27	1018	1000	618	400	1699	93,6	100	3,82	0,5	0,26	0,21	3	28,61	2,33	5,39
Azuer-Vallehermoso	6,09	1018	1000	750	268	470	44	29	8,62	0,556	0,55	0,44	3	9,57	1,86	3,75
Bañuelos	16,05	1073	994	650	423	312	26,36	22	15,64	0,76	0,82	0,43	5	6,93	9	2,08
Becea	18,83	1035	980	760	275	123	14,6	17,5	12,57	0,86	0,4	0,446	3	6,07	9	2,6
Cigüela-Buenavista	3,75	1100	1100	620	480	3600	128	152	3,15	0,53	0,4	0,21	5	40,78	0,25	5,72
Cigüela-Quintanar	5,23	1100	1100	750	350	995	66,9	85,1	4,11	0,53	0,035	0,13	3	24,96	0,54	1
Cigüela-Villafranca	3,8	1100	1100	700	400	3367	105,3	122,7	3,26	0,62	0,04	0,087	3	34,45	0,43	1,5
Córcoles	9,26	1000	1000	800	200	92	21,6	20	10	0,5	0,05	0,22	1	7,01	3	cauce único
Guadiana-Atajadero	5,16	1000	900	700	300	1107	58,1	33,7	5,93	0,65	0,03	0,03	1	11,51	5,7	cauce único
Jabalón	3,37	1000	1000	600	400	2389	118,6	159	2,515	0,465	0,006	0,07	1	44,07	1,5	cauce único
Záncara	5,2	1100	1100	699	401	906	77,4	91	4,41	0,44	0,3	0,26	4	25,92	0,25	6,2

Tabla 6.7 - Parámetros morfológicos y características físicas de las subcuencas del Guadiana

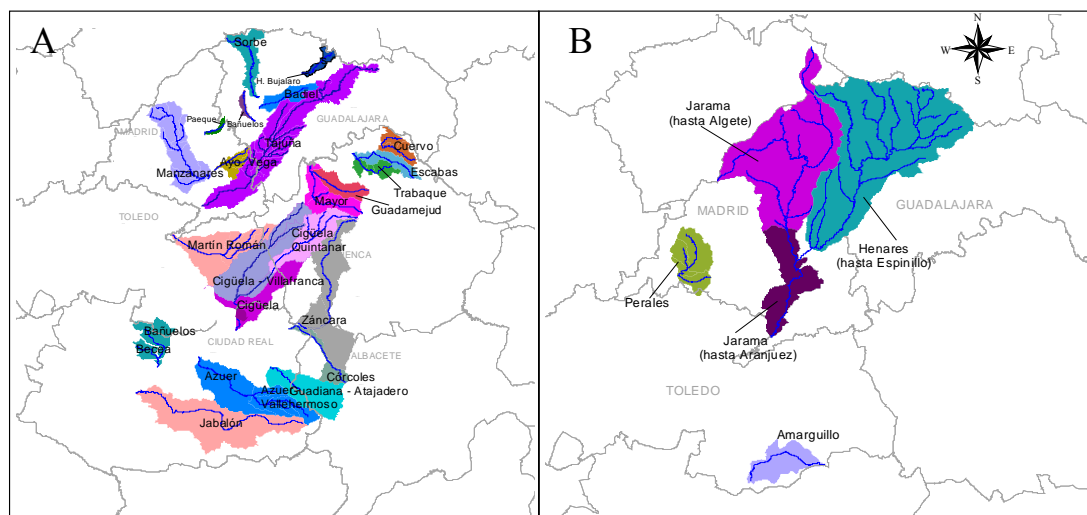
**SUBCUENCAS DEL RÍO TAJO**

SUBCUENCAS	Relación relieve (m/Km)	Cota máxima cuenca (m)	Cota máxima cauce (m)	Cota mínima (m)	Amplitud relieve (m)	Área cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud cuenca (Km)	Longitud cauce principal (Km)	Pendiente cauce principal (m/Km)	Índice de elongación	Densidad cauces (Nc/Km)	Densidad drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Orden cauce principal	Tc (horas)	limper	Índice bifurcación
Arroyo Vega-Alcobendas	14,286	730	720	615	115	25	8,05	9	11,7	0,7	1	0,84	3	3,71	1	3,57
Badiel	9,24	1100	1000	700	400	325,4	43,3	39,721	7,55	0,47	0,025	0,12	1	12,46	0,1	cauce único
Bañuelos	12,9	769	769	580	189	16,03	14,65	11,95	15,816	0,31	0,17	0,98	2	4,35	1	1
Cuervo	24,8	1700	1600	1000	700	350,8	28,2	38,05	15,77	0,75	0,05	0,16	2	10,49	1,5	1
Escabas	19,2	1700	1500	800	900	341,7	46,9	58,515	11,963	0,44	0,02	0,17	1	15,33	1	cauce único
Guadamejud	9,41	1200	1100	800	400	399,98	42,5	47,642	6,3	0,53	0,02	0,12	1	14,81	0,1	cauce único
Henares-cabecera	9,32	1200	1100	800	400	1285	42,9	49,32	6,08	0,94	0,142	0,17	1	15,31	3	cauce único
Henares-Espinillo	6,31	1200	1100	500	700	3999,3	111	151,97	3,95	0,64	0,092	0,155	4	39,08	0,54	5,2
Jarama-Algete	15,77	2000	2000	500	1500	2598,5	95,1	128	11,72	0,6	0,055	0,132	5	27,89	2,33	2,25
Jarama-Aranjuez	10,11	2000	2000	400	1600	3581,7	158,22	227,83	7,02	0,43	0,035	0,12	5	47,65	1,5	2,7
Manzanares-El Pardo	48,9	2262	2262	600	1662	537	34	43,132	26,7	0,77	0,07	0,15	2	9,73	1,5	3
Manzanares-Vaciamadrid	25,73	2262	2262	600	1662	1240	64,6	77	21,6	0,615	0,57	0,302	4	16,88	2,33	7,36
Martín Román	4,37	800	700	500	300	1295,3	68,6	65,35	3,06	0,59	0,05	0,11	2	21,6	0,43	1
Mayor	8,6	1100	1100	800	300	419,8	35	39,93	7,5	0,66	0,05	0,12	2	12,52	0,1	1
Paeque	11,54	854	854	600	254	34,61	22	23,5	10,81	0,3	0,47	1,5	3	7,81	0,25	4,13
Perales	26,18	1400	900	400	1000	1122,9	38	34,4	14,55	0,99	0,087	0,061	2	9,85	0,82	2
Sorbe	34,5	2000	1900	1000	1000	439	29	47,56	18,92	0,815	0,02	0,11	1	12	2,33	cauce único
Tajuña	5,8	1364	1254	649	715	2029	123	150	4,03	0,41	0,82	0,41	5	38,54	0,25	14,34
Trabaque	30,6	1500	1300	900	600	217,5	19,6	18,605	21,5	0,85	0,11	0,154	2	5,74	1,22	2

**Tabla 6.8** - Parámetros morfológicos y características físicas de las subcuencas del Tajo

### 6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN MÚLTIPLE.

Una vez calculadas las variables que intervienen en el análisis estadístico, se han calculado los coeficientes de correlación entre dichas variables y se ha desarrollado el modelo de regresión múltiple, analizando las relaciones existentes entre el caudal, la precipitación y las características morfológicas de las cuencas y de la red de drenaje. Para ello se han seleccionado 26 de las 31 subcuencas descritas (*Figura 6.6*). Los datos de las cinco subcuencas restantes han servido para contrastar los resultados y validar el modelo de regresión. Para la realización de estos análisis estadísticos se ha utilizado el programa informático Statgraphics (S.G.C., 1999) y el sistema de análisis estadístico SAS.



**Figura 6.6** – Subcuencas seleccionadas para el análisis estadístico (A) y para el contraste final de los resultados (B)

### 6.3.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

El método utilizado en este análisis de correlación es el de Pearson (SQG, 1995; Murray y Larry, 2002), que determina el grado de dependencia lineal entre dos variables, y cuyo resultado se expresa mediante un índice adimensional que varía entre -1 y 1. Cuando los coeficientes de correlación de Pearson se acercan al valor 1, indican un alto grado de relación entre las variables. Se puede considerar que valores por encima de 0.5 indican correlación estadística o dependencia lineal entre las variables.

Este método nos permite ver el grado de relación entre una serie de parámetros, determinando qué factores influyen en las avenidas y cuáles son las analogías y diferencias entre las distintas cuencas de la zona estudiada. Además servirá de base para el desarrollo del modelo de regresión que, como ya veremos, parte de la premisa de que las variables que intervienen no deben presentar dependencia lineal entre ellas. El coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) viene

definido por la expresión 
$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$
 donde X e Y son los valores de

las variables a correlacionar y n el número de datos de la muestra.

Se han obtenido, en primer lugar, los coeficientes de correlación entre los caudales máximos y los parámetros morfológicos de las diferentes subcuencas (Tabla 6.9) por un lado, considerando todas las subcuencas juntas y, por otro lado, independizando las pertenecientes a la cuenca del Tajo y del Guadiana. Además, se ha realizado el mismo análisis excluyendo las subcuencas más extensas, la del Tajuña para el Tajo y las del Jabalón y Cigüela para el Guadiana, con el fin de comprobar si la extensión condiciona los resultados (Tabla 6.10).

El mismo proceso se ha llevado a cabo para la comparación de datos de caudal y precipitación, utilizando aquí los ajustes de precipitación máxima obtenidos tanto por el método SQRT\_max como GEV\_momentos ponderados (Tabla 6.11 y Tabla 6.12)

Parámetros morfológicos	Períodos de retorno (años)	Todas las subcuencas	Subcuencas del TAJO	Subcuencas del GUADIANA
Ímper	10	0.07	<b>0.79</b>	-0.08
	25	0.10	<b>0.78</b>	0.04
	100	0.17	<b>0.75</b>	0.24
	500	0.27	<b>0.68</b>	<b>0.49</b>
Área cuenca	10	0.08	<b>0.53</b>	0.28
	25	0.07	<b>0.55</b>	0.18
	100	0.04	<b>0.55</b>	0.04
	500	-0.01	<b>0.53</b>	-0.14
Índice elongación	10	0.31	0.42	0.009
	25	0.33	0.43	0.05
	100	0.36	0.45	0.14
	500	<b>0.40</b>	0.46	0.28
Longitud cauce principal	10	0.27	0.44	<b>0.59</b>
	25	0.26	0.45	<b>0.49</b>
	100	0.24	0.46	0.29
	500	0.17	0.45	0.01
Densidad cauces	10	-0.0002	0.03	-0.07
	25	0.02	0.03	0.01
	100	0.05	0.03	0.17
	500	0.10	0.02	0.37
Densidad drenaje	10	-0.25	-0.34	-0.25
	25	-0.25	-0.35	-0.12
	100	-0.24	-0.36	0.10
	500	-0.22	-0.37	0.39
Orden cauce principal	10	-0.05	0.08	-0.05
	25	-0.026	0.10	-0.04
	100	0.01	0.14	0.003
	500	0.07	0.17	0.08
Índice bifurcación cauces	10	0.15	0.21	-0.16
	25	0.17	0.25	-0.20
	100	0.20	0.29	-0.21
	500	0.21	0.32	-0.20
Amplitud de relieve	10	<b>0.74</b>	<b>0.73</b>	<b>0.48</b>
	25	<b>0.76</b>	<b>0.76</b>	<b>0.42</b>
	100	<b>0.77</b>	<b>0.81</b>	0.32
	500	<b>0.76</b>	<b>0.84</b>	0.15
Relación relieve cuenca	10	<b>0.44</b>	<b>0.42</b>	-0.13
	25	<b>0.47</b>	<b>0.46</b>	0.002
	100	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	0.23
	500	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	<b>0.51</b>
Pendiente cauce principal	10	<b>0.33</b>	0.32	-0.25
	25	<b>0.36</b>	0.35	-0.12
	100	<b>0.41</b>	<b>0.40</b>	0.10
	500	<b>0.48</b>	<b>0.46</b>	0.39
Tiempo de concentración	10	0.18	0.32	<b>0.59</b>
	25	0.18	0.33	<b>0.48</b>
	100	0.15	0.33	0.28
	500	0.08	0.32	-0.002

**Tabla 6.9** - Coeficientes de correlación de Pearson entre el caudal para los diferentes períodos de retorno y los parámetros morfológicos de todas las subcuencas. Se señalan en negrita los valores cercanos a 0.5, que se consideran significativos

Parámetros morfológicos	Períodos de retorno (años)	Subcuencas del TAJO	Subcuencas del GUADIANA
		<i>Pequeñas y medianas subcuencas</i>	<i>Pequeñas y medianas subcuencas</i>
Ímper	10	<b>0.85</b>	<b>0.45</b>
	25	<b>0.85</b>	<b>0.61</b>
	100	<b>0.83</b>	<b>0.71</b>
	500	<b>0.77</b>	<b>0.76</b>
Área cuenca	10	<b>0.63</b>	-0.21
	25	<b>0.62</b>	-0.49
	100	<b>0.59</b>	-0.37
	500	<b>0.53</b>	-0.57
Índice elongación	10	<b>0.47</b>	<b>0.53</b>
	25	<b>0.50</b>	<b>0.68</b>
	100	<b>0.53</b>	<b>0.79</b>
	500	<b>0.55</b>	<b>0.85</b>
Longitud cauce principal	10	<b>0.62</b>	-0.06
	25	<b>0.60</b>	-0.24
	100	<b>0.56</b>	-0.40
	500	<b>0.50</b>	-0.50
Densidad cauces	10	-0.03	<b>0.59</b>
	25	-0.04	<b>0.71</b>
	100	-0.06	<b>0.78</b>
	500	-0.10	<b>0.78</b>
Densidad drenaje	10	-0.35	<b>0.41</b>
	25	-0.36	<b>0.59</b>
	100	-0.37	<b>0.73</b>
	500	-0.39	<b>0.80</b>
Orden cauce principal	10	0.004	<b>0.76</b>
	25	0.01	<b>0.76</b>
	100	0.02	<b>0.71</b>
	500	0.04	<b>0.62</b>
Índice bifurcación cauces	10	0.23	0.21
	25	0.24	0.15
	100	0.26	0.10
	500	0.27	0.04
Amplitud de relieve	10	<b>0.72</b>	<b>0.58</b>
	25	<b>0.75</b>	<b>0.47</b>
	100	<b>0.80</b>	0.31
	500	<b>0.85</b>	0.17
Relación relieve cuenca	10	<b>0.45</b>	<b>0.51</b>
	25	<b>0.50</b>	<b>0.69</b>
	100	<b>0.59</b>	<b>0.82</b>
	500	<b>0.69</b>	<b>0.89</b>
Pendiente cauce principal	10	0.38	<b>0.39</b>
	25	<b>0.42</b>	<b>0.59</b>
	100	<b>0.50</b>	<b>0.74</b>
	500	<b>0.58</b>	<b>0.80</b>
Tiempo de concentración	10	<b>0.40</b>	-0.09
	25	0.38	-0.27
	100	0.33	-0.42
	500	0.26	-0.53

**Tabla 6.10** - Coeficientes de correlación de Pearson entre el caudal para los diferentes períodos de retorno y los parámetros morfológicos de las subcuencas, excluyendo las más extensas (ríos Tajuña, Jabalón y Cigüela)

Precipitación máxima probable	Períodos de retorno (años)	Todas las cuencas	Subcuencas del TAJO	Subcuencas del GUADIANA
Ajuste SQRT	10	-0.09	-0.03	-0.02
	25	-0.02	0.05	0.07
	100	0.10	0.14	0.24
	500	0.25	0.24	<b>0.47</b>
Ajuste GEV_momentos ponderados	10	-0.18	-0.17	0.12
	25	-0.15	-0.12	0.30
	100	-0.09	-0.04	0.36
	500	-0.05	0.05	0.04

**Tabla 6.11** - Coeficientes de correlación de Pearson entre el caudal para los diferentes períodos de retorno y la precipitación máxima probable

Precipitación máxima probable s	Períodos de retorno (años)	Subcuencas del TAJO	Subcuencas del GUADIANA
		<i>Pequeñas y medianas subcuencas</i>	<i>Pequeñas y medianas subcuencas</i>
Ajuste SQRT	10	-0.12	<b>0.67</b>
	25	-0.06	<b>0.83</b>
	100	0.03	<b>0.90</b>
	500	0.13	<b>0.86</b>
Ajuste GEV_momentos ponderados	10	-0.27	<b>0.45</b>
	25	-0.24	<b>0.64</b>
	100	-0.15	<b>0.57</b>
	500	-0.05	0.17

**Tabla 6.12** - Coeficientes de correlación de Pearson entre el caudal para los diferentes períodos de retorno y la precipitación máxima probable, excluyendo las subcuencas más extensas (ríos Tajuña, Jabalón y Cigüela)

Los resultados observados en estos análisis de correlación en las distintas cuencas son los siguientes:

*Considerando las subcuencas del Tajo y el Guadiana en conjunto:*

Si analizamos juntas todas las subcuencas del Tajo y el Guadiana (Tabla 6.9), el único parámetro significativo es la amplitud de relieve, con coeficientes de correlación entorno a 0.75, seguido de la relación de relieve y la pendiente del cauce principal, con valores cercanos a 0.5. La longitud del cauce principal, el índice de elongación y la impermeabilidad también tienen cierta correlación con el caudal, aunque más baja, y la precipitación solo se relaciona con el caudal en altos períodos de retorno. En la mayoría de los parámetros aumenta sensiblemente la correlación al aumentar el caudal, salvo la longitud del cauce. Otros parámetros, como la densidad de drenaje, tienen una buena correlación con el caudal pero negativa.

*Considerando las subcuencas del Tajo:*

Al considerar solo las subcuencas del Tajo la amplitud de relieve vuelve a aparecer como parámetro prioritario, con coeficientes entre 0.73 y 0.84, pero al mismo tiempo pasa a ser



importante el índice de impermeabilidad de la cuenca (0.79-0.68). Otros parámetros que pasan a tener coeficientes entorno a 0.5 son la relación de relieve y el área de la cuenca. (Tabla 6.9). La longitud y pendiente del cauce principal, el tiempo de concentración y el índice de elongación de la cuenca tienen también una buena relación con el caudal aunque no tan alta como los anteriores parámetros. La precipitación no está bien correlacionada con el caudal en las cuencas del Tajo (Tabla 6.11)

*Considerando las subcuencas del Tajo excluyendo el Tajuña:*

La aparición del área de la cuenca como parámetro significativo nos lleva a plantearnos la importancia relativa del tamaño de las subcuencas consideradas y la heterogeneidad de la muestra, por lo que volvemos a realizar el análisis, pero eliminando la cuenca del Tajuña, sensiblemente mas extensa (Tabla 6.10). Los valores obtenidos son muy parecidos dominando, además del área (0.63-0.53), la impermeabilidad (0.85-0.77) y la amplitud de relieve (0.72-0.85), y apareciendo además entorno al 0.5 la longitud del río, el índice de elongación y la relación de relieve. En general aumentan ligeramente todos los coeficientes de correlación, pero los parámetros bien relacionados son los mismos excluyendo o no el Tajuña, lo que indica un funcionamiento similar de todas las cuencas del Tajo, independientemente de su tamaño. Respecto a su correlación con la precipitación, puede considerarse inexistente (Tabla 6.12).

La red de drenaje del Tajo está bien desarrollada y jerarquizada. El caudal tiene una relación directa con la escorrentía superficial que depende fundamentalmente de los factores de relieve, el área y la amplitud de relieve de la cuenca y la longitud del cauce principal. Estas relaciones aumentan si se elimina el Tajuña, la cuenca de mayor tamaño, lo que podría significar una mayor relación del caudal con los parámetros morfológicos mencionados en cuencas de menor tamaño, aunque los tipos de relaciones no varían, lo que también indica un funcionamiento similar de las cuencas del Tajo, en cuanto a la generación de caudales, independientemente de su tamaño.

*Considerando las subcuencas del Guadiana:*

En este caso, la correlación entre el caudal y el resto de parámetros morfológicos es baja en general (Tabla 6.9). Según este análisis el caudal no parece estar muy relacionado con la morfología y los parámetros superficiales de la cuenca. Aún así se ve una cierta correlación, cercano a 0.5, con la amplitud de relieve, la longitud del cauce principal y el tiempo de concentración de la cuenca, que depende de los dos anteriores. Curiosamente esta correlación no es mala para bajos períodos de retorno, de 10 y 25 años, pero desaparece al aumentar el tiempo de recurrencia. Otros parámetros como la impermeabilidad y el relieve de la cuenca, tienen cierta correlación con el caudal pero solo en altos períodos de retorno. Respecto a la

precipitación ocurre lo mismo (*Tabla 6.11*), su correlación aumenta ligeramente con el período de retorno, aunque sigue siendo baja. En el Guadiana, al contrario de lo que se veía en las cuencas del Tajo, el área de la cuenca no tiene ninguna correlación con el caudal, disminuyendo aún más al aumentar el período de retorno.

*Considerando las subcuencas del Guadiana excluyendo el Cigüela y el Jabalón:*

Si se eliminan del análisis las subcuencas más extensas del Guadiana, aumenta significativamente la correlación del caudal con el relieve de la cuenca y con la pendiente del cauce principal, con coeficientes de hasta 0.8. También aumenta la relación con la densidad de cauces y de drenaje (0.59-0.78 y 0.41-0.80 respectivamente), así como con la impermeabilidad (0.45-0.76), el orden del cauce principal y el índice de elongación de la cuenca (*Tabla 6.10* y *Tabla 6.12*) Todos estos parámetros se hacen mucho más significativos a medida que se consideran caudales más altos.

Curiosamente, la amplitud de relieve, que era significativa en los casos anteriores, aquí apenas se aproxima al 0.5, y solo es significativa para caudales pequeños.

Al eliminar las grandes cuencas del Guadiana, la longitud del cauce y el tiempo de concentración pasan a ser menos significativos, y la relación con el área de la cuenca se hace inversa. Esto es, en las cuencas de mayor tamaño solo pueden considerarse significativos la longitud del cauce y el tiempo de concentración, mientras que en las pequeñas y medianas cuencas el relieve, la forma de la cuenca y las características de la red de drenaje son más significativas frente a la generación de caudales.

Por tanto, se puede concluir que en las cuencas del Guadiana tienen buena relación con el caudal los parámetros que determinan el tiempo de respuesta de la cuenca, como son la forma de la cuenca y la densidad de cauces y de drenaje y la longitud del cauce principal. Además la impermeabilidad y la precipitación son representativos frente al caudal en altos períodos de retorno, lo que también tiene que ver con el tiempo de respuesta de la cuenca, ésto podría deberse a una alta influencia de la escorrentía subterránea en el caudal de estas cuencas.

Si eliminamos el Cigüela y el Jabalón del análisis, se observa un aumento de la correlación con el caudal de los parámetros de relieve y drenaje, la forma y la impermeabilidad de la cuenca, luego estos factores podrían ser más representativos en cuencas pequeñas. En cambio, la longitud del cauce principal y el tiempo de concentración son más representativos frente al caudal en las grandes cuencas.

### *Análisis comparativo entre las distintas cuencas y conclusiones del análisis de correlación*

Para resumir lo dicho anteriormente, la *Tabla 6.13* muestra una síntesis de los parámetros que presentan un coeficiente de correlación más alto respecto al caudal, según las cuencas que consideremos en el análisis.

Parámetros más significativos frente al caudal	Subcuencas del Tajo y del Guadiana	Subcuencas Tajo	Subcuencas Tajo excluyendo Tajuña	Subcuencas Guadiana	Subcuencas Guadiana excluyendo Cigüela y Jabalón
Ímper	0.07 – 0.27	<b>0.79 – 0.68</b>	<b>0.85 – 0.77</b>	<b>-0.08 – 0.49</b>	<b>0.45 – 0.76</b>
Área cuenca		<b>0.53 – 0.55</b>	<b>0.63 – 0.53</b>		
Índice de elongación	0.31 – 0.40	0.42 – 0.46	<b>0.47 – 0.55</b>		<b>0.53 – 0.85</b>
Longitud cauce principal	0.27 – 0.17	0.44 – 0.46	<b>0.66 – 0.50</b>	<b>0.59 – 0.01</b>	
Densidad cauces					<b>0.59 – 0.78</b>
Densidad drenaje					<b>0.41 – 0.80</b>
Orden cauce principal					<b>0.76 – 0.62</b>
Amplitud de relieve	<b>0.74 – 0.76</b>	<b>0.73 – 0.84</b>	<b>0.72 – 0.85</b>	<b>0.48 – 0.15</b>	<b>0.58 – 0.17</b>
Relación de relieve	<b>0.44 – 0.59</b>	<b>0.42 – 0.59</b>	<b>0.45 – 0.69</b>	<b>-0.13 – 0.51</b>	<b>0.51 – 0.89</b>
Pendiente cauce principal	<b>0.33 – 0.48</b>	0.32 – 0.46	<b>0.38 – 0.58</b>	-0.25 – 0.39	<b>0.39 – 0.80</b>
Tiempo de concentración		0.32 – 0.33	0.40 – 0.26	<b>0.59 – -0.002</b>	
Precipitación ajuste SQRT	-0.09 – 0.25			-0.02 – 0.47	<b>0.67 – 0.86</b>

**Tabla 6.13** – Coeficientes de correlación de los parámetros mejor correlacionados con el caudal máximo probable

En las subcuencas del Tajo los parámetros mejor correlacionados con el caudal son aquellos que tienen que ver con el relieve de la cuenca. El área y la impermeabilidad son también parámetros importantes frente al caudal, aunque esta última disminuye su importancia al aumentar el caudal.

En las subcuencas del Guadiana, en cambio, el área de la cuenca tiene una correlación muy baja con el caudal. En las grandes cuencas del Guadiana los parámetros mejor correlacionados con el caudal son la longitud del cauce principal y el tiempo de concentración, mientras que en las cuencas pequeñas y medianas son significativos los parámetros de relieve y los relativos a la red de drenaje.

Podemos decir, por tanto, que en el Tajo es importante el área de la cuenca, mientras que en el Guadiana son más representativos los parámetros de drenaje. En todos los casos se ve la alta correlación del relieve de la cuenca con el caudal. Además, en todas las cuencas el tiempo de concentración está ligeramente relacionado con el caudal pero solo para bajos períodos de retorno. En el Guadiana esta relación es más importante que en el Tajo, excepto en las cuencas pequeñas y medianas.

En cuanto a la relación entre el caudal y la precipitación, contrariamente a lo que sería esperable, la correlación es muy mala, excepto en las cuencas pequeñas y medianas del Guadiana (*Tabla 6.11 y Tabla 6.12*). Esto demuestra la dificultad de usar las ecuaciones precipitación-escorrentía con fiabilidad en todas las cuencas. Dentro de los ajustes de precipitación, el más adecuado parece ser el SQRT, dando mejores resultados en las cuencas del Guadiana, especialmente cuando se eliminan las más extensas, entonces la correlación es muy alta. En estos casos la calidad de la correlación aumenta con el caudal sensiblemente. En el Tajo, la correlación es siempre bajísima y lo mismo ocurre si se consideran todas las cuencas conjuntamente.

En general, para altos períodos de retorno, aumentan los coeficientes de correlación, excepto para el tiempo de concentración, la longitud del cauce principal y la amplitud de relieve en las cuencas del Guadiana, y el área de la cuenca y la impermeabilidad en las cuencas del Tajo. La variación de los coeficientes de correlación con el período de retorno se ve más claramente en el Guadiana y no tanto en el Tajo lo cual nos puede dar idea nuevamente de la mayor variabilidad y complejidad en el funcionamiento de las cuencas del Guadiana y la importancia del tiempo de respuesta en estas cuencas.

En conclusión, las correlaciones son mejores cuando se consideran solo las cuencas medianas y pequeñas, o sea en las grandes las relaciones son más complejas y pueden intervenir otros factores. Así mismo la correlación es mejor dentro de las subcuencas de los propios sistemas fluviales, esto es dentro de las del Tajo y del Guadiana independientemente, que si consideramos todas en conjunto. El parámetro general más significativo en ambos casos es la impermeabilidad, aunque su influencia varía para los distintos dominios considerados. Otros parámetros importantes son la amplitud y el relieve de la cuenca, que aunque son parámetros que esencialmente pueden expresar un mismo concepto, se manifiestan de forma diferente en cada sistema fluvial. En la red del Tajo con una red de drenaje mejor jerarquizada y encajada, la diferencia de elevación de la cuenca expresa mejor la capacidad de generar caudales, mientras que las cuencas llanas de la Mancha, la pendiente del cauce se convierte en un parámetro más descriptivo. Estos parámetros serían en realidad equivalentes a lo que quiere expresar el tiempo de concentración, pero sorprendentemente ese parámetro ofrece unos índices de correlación más bajos.

También, curiosamente, la importancia relativa de cada uno de estos parámetros se invierte. Para el Tajo se hace más importante, a medida que aumenta el caudal, la amplitud de relieve, mientras que la impermeabilidad disminuye, en cambio en el Guadiana el significado de la impermeabilidad aumenta con el caudal, mientras que la amplitud de relieve disminuye su importancia. Estos aspectos pueden explicarse por las distintas características fisiográficas y climáticas de las cuencas. Una mayor conexión de los ríos con sus acuíferos o la laminación y

retención del caudal, debido a un escaso relieve o a la existencia de zonas semiendorreicas, hace disminuir la relación directa del caudal aportado por la cuenca con los parámetros físicos de las cuencas. Esto podría explicar los bajos coeficientes de correlación observados en las grandes cuencas del Guadiana.

### 6.3.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

El método de regresión múltiple permite analizar la relación entre más de dos variables, una dependiente y un conjunto de independientes, y descarta relaciones debidas al azar, que pueden llevar a confusiones a la hora de interpretar los resultados (*Murray y Larry, 2002; Martínez Arias, 1999; Etxeberria, 1999*).

En este estudio se han considerado como variables el caudal y la precipitación máximos, y los parámetros morfológicos de las cuencas. El objetivo de este estudio es ver que parámetros influyen en las avenidas y con ello la posibilidad de predecir que factores son dominantes y cuales son las analogías y diferencias entre las diferentes cuencas de la zona estudiada.

Aunque actualmente existen otros métodos hidrológicos e hidráulicos más detallados para modelar el funcionamiento de las cuencas, éstos limitan el número de parámetros que intervienen en la generación de caudales, precisando análisis muy minuciosos, que tampoco garantizan en todos los casos los resultados. En nuestro estudio queremos ver hasta que punto pueden establecerse estas relaciones, si las cuencas son comparables entre si y que parámetros son más significativos. Para ello consideramos interesante el uso de las ecuaciones de regresión que permiten, precisamente, definir relaciones y decidir que características de las cuencas tienen mayor peso frente a los caudales de avenida. Otros autores como *Escalante y Reyes, 1998* han aplicado este método al estudio de sequías en cuencas de Méjico.

La expresión que define la regresión múltiple es:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

Donde:

Y: variable dependiente

$X_1 \dots X_n$ : variables independientes

a: constante de regresión

$b_1 \dots b_n$ : coeficientes de regresión estimados

### 6.3.2.1. Selección de las variables del modelo de Regresión

En este estudio se ha tomado como variable dependiente el caudal máximo probable, obtenido mediante el ajuste GEV\_momentos ponderados, y como variables independientes los parámetros morfológicos de las cuencas y la precipitación máxima obtenida también mediante ajuste GEV\_momentos ponderados. En primer lugar, el método de regresión determina las variables independientes  $X$  que intervendrán en el modelo. Estas variables tienen que cumplir una serie de condiciones, por una parte que exista independencia estadística entre ellas, y que al mismo tiempo estén relacionadas con la variable dependiente, el caudal, sin que esta relación sea debida al azar.

Al realizar este análisis se introdujeron todos los parámetros calculados comprobando que la amplitud de relieve por sí misma explicaba totalmente el caudal, enmascarando el resto de relaciones, incluso la impermeabilidad que era uno de los parámetros más significativo según el método de Pearson. Al eliminar el parámetro de amplitud de la regresión entrarán a ser significativos otros parámetros que de alguna forma representan relaciones análogas, como es la relación de relieve de la cuenca, que representa la elevación de la cuenca en función de su eje máximo. Para comprobar la independencia estadística entre las variables  $X$ , se han utilizado dos métodos complementarios:

La correlación de Pearson, que ya hemos utilizado para comprobar las variables que presentan más relación con el caudal, y que además ahora permitirá descartar las variables independientes que presenten dependencia lineal entre ellas, o altos coeficientes de correlación.

El test estadístico de valores residuales Durbin-Watson (DW) que determina si hay una correlación significativa entre los valores residuales de las series de datos utilizados en la regresión múltiple. Si el resultado del test DW está por encima de 1.4, no hay una seria autocorrelación de los residuos, luego las variables se pueden considerar independientes (S.G.C., 1999).

Una vez analizada esta independencia, hay que comprobar que no existe dependencia debida al azar con la variable dependiente caudal, para lo que se ha realizado un análisis de la varianza ANOVA (explicada ya en el capítulo 4). Recordemos que cuando P\_Value es menor de 0.05 indica que la relación entre las variables dependiente e independientes es alta y existe poca probabilidad de que esta relación sea debida al azar. Para realizar estos análisis se ha utilizado el sistema de análisis estadístico S.A.S. y el programa Statgraphics, realizando primero los test de independencia y el análisis de la varianza, y desarrollando a continuación el modelo de regresión múltiple para los diferentes períodos de retorno (*Anexo VII*)

Mediante los test de independencia Durbin Watson y el análisis de la varianza se han seleccionado los parámetros más relacionados con el caudal, o que más explican el caudal desde el punto de vista estadístico, y que cumplen con las premisas mencionadas para la selección de variables independientes en el modelo de regresión múltiple. (Tabla 6.14). Este análisis de selección de variables permitió comprobar también que existían diferencias en los resultados si se consideraban períodos de retorno más altos, como ya se veía en el análisis de correlación de Pearson.

	Parámetros más representativos frente al caudal	Períodos de retorno	Coefficientes correlación Pearson	ANOVA P_Value	Durbin Watson
Todas las subcuencas del Tajo y del Guadiana	Relación relieve cuenca	10	<b>0.44</b>	<b>0.0019</b>	<b>2.5-2.6</b>
		25	<b>0.47</b>	<b>0.0005</b>	
		100	<b>0.53</b>	<b>0.0000</b>	
		500	<b>0.59</b>	<b>0.0000</b>	
	Longitud cauce	10	0.27	<b>0.0028</b>	
		25	0.26	<b>0.0006</b>	
		100	0.24	<b>0.0001</b>	
		500	0.17	<b>0.0001</b>	
	limper	10	0.07	0.2000	
		25	0.10	0.0902	
		100	0.17	0.0243	
		500	0.27	<b>0.0033</b>	
	Pb (precipitación máxima ajuste GEV_momentos ponderados)	10	-0.18	0.1939	
		25	-0.15	0.0969	
		100	-0.09	<b>0.0446</b>	
		500	-0.05	<b>0.0444</b>	
Subcuencas del Tajo	Relación relieve cuenca	10	0.42	0.3841	<b>2.1-2.8</b>
		25	0.46	0.1481	
		100	0.52	<b>0.0241</b>	
		500	0.59	<b>0.0045</b>	
	Longitud cauce	10	0.44	<b>0.0017</b>	
		25	0.45	<b>0.0009</b>	
		100	0.46	<b>0.0005</b>	
		500	0.45	<b>0.0006</b>	
	limper	10	<b>0.79</b>	<b>0.0004</b>	
		25	<b>0.78</b>	<b>0.0005</b>	
		100	<b>0.75</b>	<b>0.0014</b>	
		500	<b>0.68</b>	<b>0.0146</b>	
	Pb (precipitación máxima ajuste GEV_momentos ponderados)	10	-0.17	0.7347	
		25	-0.12	0.5555	
		100	-0.04	0.3720	
		500	0.05	0.3008	
Subcuencas del Guadiana	Relación relieve cuenca	10	-0.13	0.5480	<b>1.8-2.5</b>
		25	0.002	0.5471	
		100	0.23	0.7048	
		500	0.51	0.2989	
	Longitud cauce	10	<b>0.59</b>	<b>0.0382</b>	
		25	<b>0.49</b>	0.1843	
		100	0.29	0.1895	
		500	0.01	0.1195	
	limper	10	-0.08	0.2072	
		25	0.04	0.2337	
		100	0.24	0.5546	
		500	<b>0.49</b>	0.5170	
	Pb (precipitación máxima ajuste GEV_momentos ponderados)	10	0.12	0.3925	
		25	<b>0.30</b>	0.4186	
		100	<b>0.36</b>	0.9746	
		500	0.04	0.7921	

**Tabla 6.14** - Resultados del análisis de correlación de Pearson, del análisis de la varianza y de las pruebas de independencia Durbin Watson que indican los parámetros más representativos frente al caudal y que se incluirán como variables independientes en el modelo de regresión

Como se puede observar en esta *Tabla 6.14*, de los tres modelos, el que se ha obtenido utilizando todas las subcuencas presenta mejores resultados de estos análisis de la varianza y test de independencia.

Los parámetros que se obtienen como óptimos en la regresión son la relación de relieve de la cuenca, la longitud del cauce principal, la impermeabilidad y la precipitación (*Tabla 6.14*). Todos estos parámetros presentan un índice Durbin-Watson bueno (mayor de 1,4). Los resultados de ANOVA son más dispares. Si consideramos todas las cuencas, los parámetros mejores son la relación de relieve y la longitud del cauce, y solo para altos períodos de retorno aparecen también como significativos la impermeabilidad y la precipitación. Esta situación cambia radicalmente al considerar aisladamente las cuencas del Tajo y del Guadiana. Las relaciones en la cuenca del Guadiana son malas en todos los casos. En la cuenca del Tajo las relaciones son mejores. Aparece como factor más importante la longitud del cauce y la impermeabilidad. La relación de relieve tiene solo significado para valores de caudal altos.

Para justificar esta disparidad de los resultados, hay que señalar, en primer lugar, que en un análisis de regresión uno de los primeros requisitos es que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande en relación con los parámetros que se analizan. En este sentido, vemos que los resultados son mejores cuando utilizamos todas las cuencas en conjunto pero que decaen, especialmente en el Guadiana, donde el número de muestra es más pequeño.

Si comparamos estos nuevos resultados con los obtenidos anteriormente por la correlación de Pearson observamos que, aunque no coinciden totalmente, sí guardan relaciones esenciales. Hay que tener en cuenta en primer lugar para la comparación que en estos nuevos casos se han utilizado la totalidad de las cuencas, sin excluir las más grandes como se había hecho también al aplicar Pearson. Uno de los parámetros más significativos como es el de la relación de relieve de la cuenca junto con el de longitud del cauce, sustituyen a los de amplitud de relieve y pendiente del cauce, que eran significativos antes pero que representan los mismos conceptos. La impermeabilidad es también significativa como antes, pero fundamentalmente en las subcuencas del Tajo. Otros parámetros como el índice de elongación tienen mejor correlación con el caudal que la precipitación, pero peores resultados de la varianza y Durbin Watson, por lo que no son tan adecuados para este análisis. En las subcuencas del Guadiana hemos visto que las relaciones son muy malas, pero no se desdican de las obtenidas por Pearson. El único cambio significativo es la aparición de la precipitación, aunque es el parámetro que peor ajuste da en la regresión y también es el que presentan valores bajos de correlación según Pearson.



Hay que tener en cuenta, en primer lugar, para la comparación de estos resultados, que en estos nuevos casos se han utilizado la totalidad de las cuencas, sin excluir las más grandes como se había hecho al aplicar Pearson.

Sin embargo, aunque no todos los parámetros seleccionados para el modelo de regresión eran los que presentaban mayores coeficientes de correlación de Pearson, la mayoría tienen valores P\_value por debajo de 0.05, lo que indica que son parámetros representativos. Además los índices de Durbin Watson están por encima de 1.4, lo que indica que ninguno de estos parámetros presenta autocorrelación y, por tanto, se pueden considerar como variables independientes.

### 6.3.2.2. Resultados del análisis de regresión

Como hemos visto, los resultados del análisis de la varianza y el test de independencia Durbin Watson ofrecen como parámetros más representativos la relación de relieve de la cuenca y la longitud del cauce principal. La impermeabilidad de la cuenca y la precipitación son también representativos, pero sobre todo para altos períodos de retorno.

Partiendo de estos cuatro parámetros se han obtenido los modelos de regresión (*Tabla 6.15 y Anexo VII*) considerando, por un lado, todas las subcuencas juntas, y por otro lado, las subcuencas del Tajo y del Guadiana por separado. Recordemos que en este análisis se tiene en cuenta la totalidad de las cuencas, tanto grandes como pequeñas.

CUENCAS	Período retorno	Funciones de regresión múltiple
Todas las subcuencas	10	$Q_{10} = 38,9935 + 1,95866 \cdot \text{relación relieve} + 0,501798 \cdot \text{longitud cauce principal} + 3,39184 \cdot \text{Imper} - 1,32862 \cdot \text{Pb } 10$
	25	$Q_{25} = 54,443 + 2,82288 \cdot \text{relación relieve} + 0,769445 \cdot \text{longitud cauce principal} + 5,73674 \cdot \text{Imper} - 1,608 \cdot \text{Pb } 25$
	100	$Q_{100} = 49,9146 + 4,69135 \cdot \text{relación relieve} + 1,29214 \cdot \text{longitud cauce principal} + 10,2852 \cdot \text{Imper} - 1,61961 \cdot \text{Pb } 100$
	500	$Q_{500} = -6,16521 + 8,02586 \cdot \text{relación relieve} + 2,05046 \cdot \text{longitud cauce principal} + 19,7049 \cdot \text{Imper} - 1,23223 \cdot \text{Pb } 500$
Subcuencas Tajo	10	$Q_{10} = -22,9281 + 0,427215 \cdot \text{relación relieve} + 0,681472 \cdot \text{longitud cauce principal} + 35,9646 \cdot \text{Imper} - 0,310101 \cdot \text{Pb } 10$
	25	$Q_{25} = -26,5918 + 0,953484 \cdot \text{relación relieve} + 0,991898 \cdot \text{longitud cauce principal} + 44,5662 \cdot \text{Imper} - 0,486371 \cdot \text{Pb } 25$
	100	$Q_{100} = -42,3703 + 2,42635 \cdot \text{relación relieve} + 1,59228 \cdot \text{longitud cauce principal} + 55,4832 \cdot \text{Imper} - 0,64056 \cdot \text{Pb } 100$
	500	$Q_{500} = -81,4276 + 5,73445 \cdot \text{relación relieve} + 2,57157 \cdot \text{longitud cauce principal} + 62,3864 \cdot \text{Imper} - 0,713819 \cdot \text{Pb } 500$
Subcuencas Guadiana	10	$Q_{10} = -81,175 - 1,88017 \cdot \text{relación relieve} + 0,296854 \cdot \text{longitud cauce principal} + 4,90701 \cdot \text{Imper} + 1,40384 \cdot \text{Pb } 10$
	25	$Q_{25} = -183,24 - 4,11392 \cdot \text{relación relieve} + 0,339892 \cdot \text{longitud cauce principal} + 8,92599 \cdot \text{Imper} + 2,76444 \cdot \text{Pb } 25$
	100	$Q_{100} = -42,3966 + 3,47668 \cdot \text{relación relieve} + 0,757158 \cdot \text{longitud cauce principal} + 6,71266 \cdot \text{Imper} - 0,113849 \cdot \text{Pb } 100$
	500	$Q_{500} = -60,552 + 10,7675 \cdot \text{relación relieve} + 1,29732 \cdot \text{longitud cauce principal} + 10,0404 \cdot \text{Imper} - 0,415629 \cdot \text{Pb } 500$

**Tabla 6.15** - Resultados del análisis de regresión múltiple, donde Q es el caudal máximo y Pb la precipitación máxima para los diferentes períodos de retorno (10, 25, 100 y 500 años).

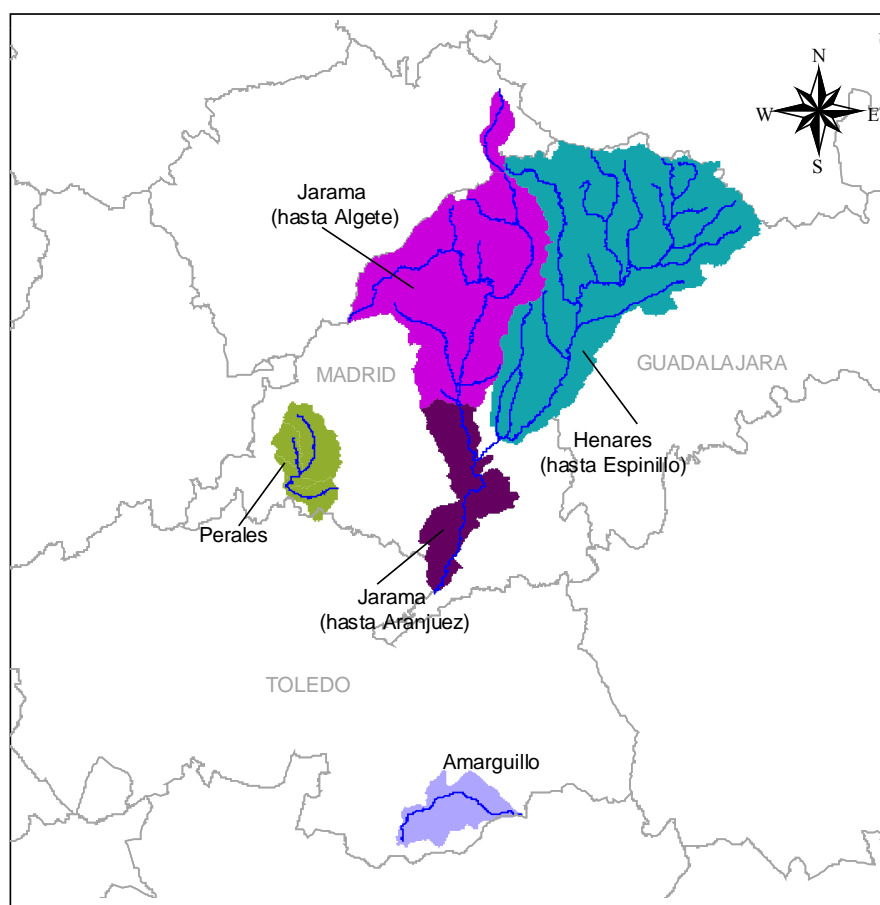
Según estos resultados, todos los parámetros aumentan al aumentar el período de retorno. Estas relaciones indican que en las cuencas del Tajo, si la impermeabilidad y la relación de relieve son altas, aunque tengamos una menor precipitación en la cuenca pueden incrementarse los caudales. En las cuencas del Guadiana, las precipitaciones son ligeramente más significativas que el relieve, aunque esto se cumple solo para bajos períodos de retorno, ya que las cuencas del Guadiana tienen pendientes muy suaves y con escasa altitud.

### 6.3.2.3. Validación de los modelos de regresión

Para comprobar hasta que punto estos modelos de regresión explican la generación de caudales máximos a partir de los parámetros representativos de cada cuenca, se ha realizado una validación de los mismos, utilizando para ello los datos de las subcuencas que no han intervenido en el análisis de regresión (*Figura 6.7*). Con los parámetros morfológicos de estas cuencas (*Tabla 6.16*) y las precipitaciones máximas (*Tabla 6.17*) se han aplicado las funciones de regresión anteriormente obtenidas.

Se comprueba que el modelo que mejor funciona es el de todas las subcuencas en conjunto. Aún así este modelo solo entra dentro de unos límites aceptables cuando se aplica a subcuencas de tamaño pequeño y medio, como es el caso de los ríos Perales y Amarguillo (*Tabla 6.18*). Los caudales comparados son siempre los caudales máximos probables obtenidos mediante ajuste GEV\_momentos ponderados, salvo en el caso del río Amarguillo donde no existen datos de aforo y se han utilizado los caudales estimados mediante el método hidrometeorológico (calculados en el capítulo anterior).

Aunque en el análisis de correlación de Pearson se obtenían mejores coeficientes cuando se separaban las subcuencas del Tajo y del Guadiana, en el caso de la regresión múltiple el modelo obtenido al unir todas las subcuencas arroja mejores resultados ya que para este tipo de análisis se requiere un tamaño grande de la muestra.



**Figura 6.7** – Esquema de situación de las cuencas utilizadas en la validación del modelo de regresión

Por tanto, los resultados de la comprobación de estas funciones son aceptables para los ríos de menor tamaño, Perales y Amarguillo. En cambio en los grandes ríos (Henares y Jarama) el modelo no da buenos resultados. Esto es lógico ya que estas últimas son cuencas con una gran extensión y un funcionamiento mucho más complejo. Podemos concluir de este análisis de validación que el modelo de regresión desarrollado sería válido para cuencas de pequeño y mediano tamaño y con similares características a las descritas.

SUBCUENCAS	Relación relieve (m/Km)	Cota máxima cuenca (m)	Cota máxima cauce (m)	Cota mínima (m)	Amplitud relieve (m)	Area cuenca (Km²)	Longitud cuenca (Km)	Longitud cauce principal (Km)	pendiente cauce principal (m/Km)	Índice elongación	Densidad cauces (Nc/Km)	Densidad drenaje (Km/Km²)	orden cauce principal	Tc (horas)	limper	Índice bifurcación
Amarguillo	21.6	1117	1117	620	497	154.4	40.2	25.1	19.8	0.60	0.12	0.16	4	7.3	2.3	4.2
Perales	26.2	1400	900	400	1000	1122.9	38	34.4	14.5	0.99	0.09	0.06	2	9.8	0.8	2
Jarama-Algete	15.8	2000	2000	500	1500	2598.5	95.1	127.9	11.7	0.60	0.05	0.13	5	27.9	2.3	2.2
Jarama-Aranjuez	10.1	2000	2000	400	1600	3581.7	158.2	227.8	7	0.43	0.03	0.12	5	47.6	1.5	2.7
Henares-Espinillo	6.3	1200	1100	500	700	3999.3	111	151.9	3.9	0.64	0.09	0.15	4	39.1	0.5	5.2

**Tabla 6.16** - Parámetros morfológicos medidos en las cuencas usadas en la validación del modelo

CUENCAS	Período de retorno			
	10	25	100	500
Amarguillo	53	63.8	78.4	94.2
Jarama-Algete	52	64	82	106
Jarama-Aranjuez				
Henares-Espinillo	49	57	68	80
Perales	51.2	60.8	75	91.4

**Tabla 6.17** - Precipitaciones máximas areales (mm.) estimadas mediante ajuste GEV\_momentos ponderados

Cuencas	Modelo de regresión	Caudales (m³/seg) obtenidos con los modelos de regresión				Caudales máximos probables (m³/seg)			
		10	25	100	500	10	25	100	500
Amarguillo	Todas subcuencas	<b>31.2</b>	<b>45.2</b>	<b>80.2</b>	<b>147.6</b>	56	68	109	162
	Subcuencas Tajo	<b>69.7</b>	<b>90.3</b>	<b>127.3</b>	<b>183</b>				
	Subcuencas Guadiana	-28.6	-66.4	58.1	188.1				
Perales	Todas subcuencas	<b>42.3</b>	<b>61.7</b>	<b>104.1</b>	<b>178</b>	58	80.5	121	179
	Subcuencas Tajo	25.3	39.5	73.4	143.1				
	Subcuencas Guadiana	-44.3	-103.8	71.6	236.2				

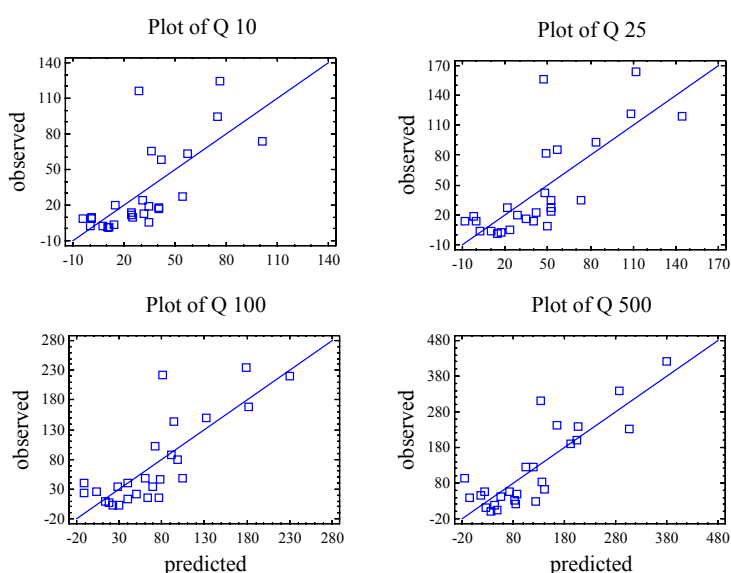
**Tabla 6.18**– Resultados obtenidos al aplicar las funciones de regresión en las cuencas de tamaño pequeño y medio y comparación con los caudales máximos probables obtenidos mediante ajuste GEV\_momentos ponderados de los caudales aforados en el río Perales y por método hidrometeorológico en el río Amarguillo.

Por tanto, en el análisis de validación del modelo de regresión, el modelo que muestra la (Tabla 6.19), tanto para cuencas del Tajo como para cuencas del Guadiana, es el que define mejor el funcionamiento de las cuencas estudiadas en cuanto a la generación de caudales máximos. En este modelo se incluye la relación de relieve, la longitud del cauce principal, la impermeabilidad y la precipitación.

Para comprobar también la validez de los resultados de regresión, se ha ensayado aplicar otras ecuaciones introduciendo parámetros distintos, sin obtener tan buenos resultados. Así se realizó el análisis de regresión sustituyendo la relación de relieve por el área de la cuenca, la amplitud de relieve y la pendiente del cauce principal, y se realizaron también análisis considerando solo los parámetros mejor correlacionados con el caudal según el análisis de Pearson en las cuencas del Tajo, por un lado, y las del Guadiana por otro. En ninguno de estos casos se obtuvieron buenos resultados ni en el ajuste de las funciones de regresión ni en su validación.

CUENCAS	Períodos retorno	Funciones de regresión múltiple
Todas las subcuencas	10	$Q_{10} = 38,9935 + 1,95866 \cdot \text{relación relieve} + 0,501798 \cdot \text{longitud cauce principal} + 3,39184 \cdot \text{Imper} - 1,32862 \cdot \text{Pb } 10$
	25	$Q_{25} = 54,443 + 2,82288 \cdot \text{relación relieve} + 0,769445 \cdot \text{longitud cauce principal} + 5,73674 \cdot \text{Imper} - 1,608 \cdot \text{Pb } 25$
	100	$Q_{100} = 49,9146 + 4,69135 \cdot \text{relación relieve} + 1,29214 \cdot \text{longitud cauce principal} + 10,2852 \cdot \text{Imper} - 1,61961 \cdot \text{Pb } 100$
	500	$Q_{500} = -6,16521 + 8,02586 \cdot \text{relación relieve} + 2,05046 \cdot \text{longitud cauce principal} + 19,7049 \cdot \text{Imper} - 1,23223 \cdot \text{Pb } 500$

**Tabla 6.19-** Modelo final de regresión múltiple seleccionado



**Figura 6.8** - Resultados gráficos del modelo de regresión múltiple seleccionado para distintos periodos de retorno

En las ecuaciones de cuenca, un parámetro que suele utilizarse es el área de la cuenca. En nuestro caso se ha observado que el área de la cuenca no es el parámetro más significativo, pero en cambio los factores más dominantes son los parámetros de relieve como la amplitud de relieve y la relación de relieve de la cuenca y la pendiente del cauce, que se manifiestan tanto a partir de la correlación de Pearson como en ANOVA, con mayor o menor peculiaridad.

El otro parámetro significativo es la impermeabilidad, que es buena en el Tajo, pero si se consideran todas las cuencas juntas, o solo las del Guadiana, solo lo es para altos períodos de retorno.

En cuanto a la precipitación, es un parámetro que aunque entra en los modelos de regresión, presenta valores de significancia de ANOVA malos, lo mismo que ocurre con el coeficiente de correlación. Los ajustes GEV de este factor ofrecen mayor relación con el caudal, mientras que en el análisis de correlación de Pearson tenía muy bajos coeficientes, presentando un ligero aumento en estos coeficientes la precipitación ajustada con SQRT.

De lo anteriormente expuesto podemos concluir que los modelos de regresión de parámetros de cuenca no son válidos en general para generalizarlos a otras cuencas, ni siquiera entre cuencas cercanas como el Tajo y el Guadiana ya que como hemos visto pueden presentar comportamientos muy distintos. Pero sí serían válidos para aplicarlos individualmente, centrándonos en las características propias de cada cuenca. El modelo de regresión que aquí se plantea no sería válido para establecer una formulación que sea aplicable a otras cuencas hidrográficas, ya que se ve que cuando se extrapola el cálculo a cuencas de mayor tamaño no suele dar buenos resultados. Lo que se puede, por ejemplo, pretender con ello es marcar una sistemática de método de trabajo, que consistiría en obtener los parámetros morfológicos y los datos de precipitación en cada cuenca a estudiar, y en base a estos datos, estimar la ecuación de regresión que mejor se ajuste al funcionamiento de la cuenca, para a partir de ahí predecir valores futuros de caudal. Puesto que no en todos los cauces se dispone de datos de caudal aforado para utilizar en la ecuación de regresión, en estos casos sí podríamos obtener esta ecuación utilizando los datos de cuencas cercanas geográficamente, siempre que las características hidrológicas, climáticas y morfológicas sean similares.

#### **6.4. DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN**

El análisis de regresión muestra una relación buena para el conjunto de todas las cuencas entre los caudales y la relación de relieve, la impermeabilidad y la longitud del cauce principal. Esta relación es mejor para altos períodos de retorno. Pero la impermeabilidad es mucho más importante frente al caudal en las cuencas del Tajo, mientras que la precipitación es más

---

importante en las cuencas del Guadiana, donde incluso llega a ser más representativa, en bajos períodos de retorno, que la relación de relieve.

Los resultados del análisis de correlación y regresión no se contradicen. Aunque en los modelos de regresión final solo intervienen los parámetros más representativos frente al caudal (por ejemplo, no aparecen en estos modelos la pendiente del cauce, la forma de la cuenca o el tiempo de concentración), según los análisis de correlación estos parámetros también son importantes frente al caudal, pero no tan explicativos como los introducidos en los modelos de regresión finales. Otros parámetros como el área o la amplitud de relieve de la cuenca tienen una alta correlación con el caudal en muchas cuencas, pero su información está incluida en la relación de relieve, que sí interviene en el modelo de regresión. Lo mismo ocurre con el tiempo de concentración, que depende de la longitud y pendiente del cauce.

Las variaciones de estas relaciones con los períodos de retorno y entre las cuencas del Tajo y el Guadiana se ven en ambos análisis, así la precipitación es más importante en el Guadiana y para altos períodos de retorno, en cambio el área de la cuenca es más representativa frente al caudal en las cuencas del Tajo. Estas variaciones, especialmente el aumento de la relación con el caudal de las precipitaciones y la impermeabilidad de la cuenca para altos períodos de retorno, demuestra la importancia del tiempo de respuesta de las cuencas, sobre todo en las cuencas del Guadiana, y como se veía en el análisis de correlación, en las pequeñas y medianas cuencas.

Por último, en la validación de las funciones de regresión se ha comprobado que las cuencas de pequeño y mediano tamaño, tanto del Tajo como del Guadiana, responden bien al modelo propuesto, no ocurre así con las grandes cuencas, debido a su mayor heterogeneidad y comportamiento más complejo. El modelo de regresión confirma la importancia de la variación del relieve y las características del cauce frente a la generación de caudales, así como la influencia de las características litológicas y la precipitación, sobre todo para altos períodos de recurrencia.

Resumiendo, en todas las cuencas, tanto del Tajo como del Guadiana, se observan variaciones muy importantes de caudal entre cuencas de tamaño semejantes, en cambio las precipitaciones de estas cuencas son muy similares o varían en un rango muy estrecho, por lo tanto los parámetros físicos de las cuencas tienen una importancia muy grande en la generación de caudales, en especial los parámetros de relieve y la longitud del cauce en las cuencas del Tajo y los parámetros de relieve, forma y drenaje en las cuencas del Guadiana.

Además se ha visto que las altas precipitaciones y la impermeabilidad de la cuenca contribuyen en el aumento de caudales, pero sobre todo en altos períodos de retorno. El área, que es un factor determinante a la hora de estimar caudales en la mayoría de métodos existentes, se ha

---

comprobado aquí que tiene una menor relación con el caudal que otros parámetros, como los ya mencionados. Esta menor relación se observa sobre todo en las cuencas del Guadiana. Podemos concluir, por tanto, que el caudal de avenida de una cuenca, a la vista de todos estos análisis, puede estimarse en base a tres parámetros fundamentalmente: el relieve de la cuenca (que incluye información sobre otros parámetros también importantes como la amplitud de relieve de la cuenca y la longitud y pendiente del cauce principal), la impermeabilidad de la cuenca y la precipitación máxima.

Este modelo de caracterización de las cuencas hidrográficas es útil para definir el comportamiento a escala regional de las cuencas. La metodología aplicada a los análisis de regresión podría aplicarse para estudios más detallados de cuencas de menor tamaño y con escasez de datos de caudal aforado. La simplicidad del modelo y la facilidad de obtención de los parámetros que intervienen en el cálculo, son fundamentales a la hora de abordar estudios regionales, que requieren el manejo de un gran volumen de datos y amplias extensiones de cuenca, además se ha comprobado que los resultados que se obtienen son aceptables para cuencas de tamaño pequeño y medio de la zona.

La formulación más usada actualmente en este sentido, presentan restricciones de utilización, ya sea porque se deben aplicar a pequeñas cuencas, ya sea porque necesitan datos de partida de difícil cálculo. La mayoría de los métodos de estimación de caudales parten de la base de una relación fundamental entre el área (A) y el caudal (Q), como por ejemplo la relación exponencial de Strahler (1979), que se formula como  $Q=a.A^b$ . La metodología que aquí se propone no establece una relación directa del caudal con el área, sino con otros parámetros morfológicos más representativos como el relieve o la pendiente del cauce principal.

En el siguiente capítulo se contrastarán los caudales de avenida estimados por otros métodos hidrológicos e hidrometeorológicos, discutiendo su aplicabilidad.



## **7. CONTRASTACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDA MEDIANTE DIVERSOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS.**

En esta parte del trabajo se estimarán los caudales de avenida de las subcuencas descritas, utilizando distintos métodos hidrológicos, con el fin de determinar los posibles caudales de avenida esperables en estas subcuencas. A partir del análisis comparativo de los resultados de caudales obtenidos por los distintos métodos hidrológicos, junto con los resultados del análisis de series históricas de inundaciones y precipitaciones realizado anteriormente, se puede llegar a comprender las distintas respuestas de estas cuencas frente a las avenidas. Se pretende además discutir y contrastar los resultados y aplicabilidad de estas distintas metodologías en función de las características propias de cada cuenca.

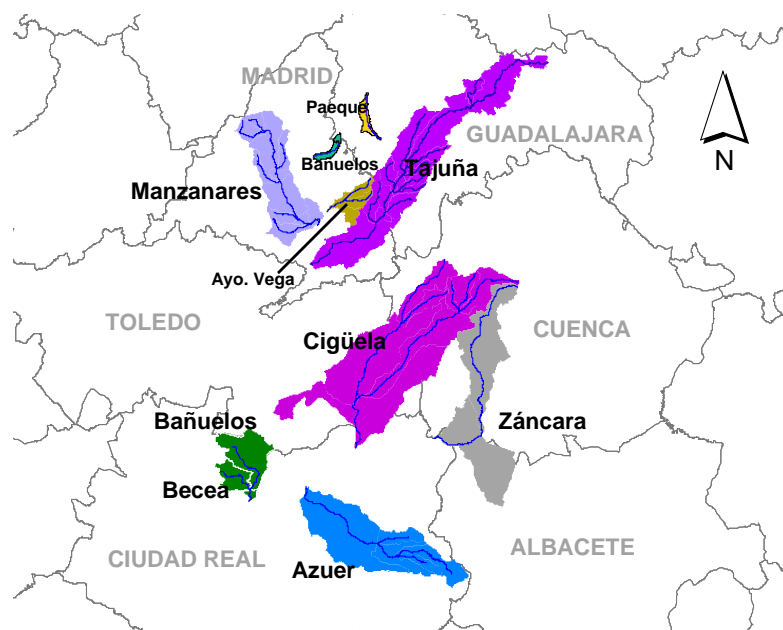
Los métodos hidrológicos aplicados en este estudio para la estimación de caudales de avenida son el método hidrometeorológico, el análisis de caudales de registros históricos y el análisis de caudales aforados mediante métodos probabilísticos.

Al final de este capítulo se discutirá el resultado de la comparación de los caudales históricos con los obtenidos por los distintos métodos hidrológicos, con el fin de determinar, de una forma aproximada, la periodicidad y probabilidad de ocurrencia correspondiente a estas inundaciones históricas registradas.

### **7.1. LOS CAUDALES DE AVENIDA ESPERABLES SEGÚN EL MÉTODO HIDROMETEOROLÓGICO**

Los métodos hidrometeorológicos se pueden clasificar como modelos matemáticos determinísticos, no lineales, que simulan un caudal de avenida a partir de la precipitación máxima registrada en la cuenca hidrográfica, y teniendo en cuenta una serie de factores físicos característicos, como son la litología, la pendiente, la cubierta vegetal y las características de la red de drenaje. A este tipo de modelos se les denomina también de precipitación-escorrentía (*Ferrer Polo, 2000; CEDEX-MOPTMA, 1996*).

El objetivo de este estudio es estimar los caudales máximos de avenida esperables en una serie de cuencas del centro peninsular, en concreto once de las 31 subcuencas del Tajo y del Guadiana descritas en el capítulo anterior (*Figura 7.1*). Los resultados servirán, por una parte, para caracterizar el comportamiento de estas cuencas frente a las inundaciones, a partir de sus características físicas e hidrometeorológicas, y por otra parte, para contrastarlas con los caudales que se estiman mediante otras metodologías que se aplicarán más adelante.



**Figura 7.1**– Esquema de situación de las cuencas donde se ha aplicado el método hidrometeorológico de estimación de caudales de avenida

El método hidrometeorológico consiste, en primer lugar, en el tratamiento de las precipitaciones máximas diarias para, a partir de ellas, estimar probabilísticamente las precipitaciones máximas esperables en cada cuenca para cada período de retorno. A partir de ellas y de los parámetros físicos de la cuenca, se calculan la intensidad máxima de precipitación, el umbral de escorrentía y el tiempo de concentración de cada cuenca. Una de las formulaciones aplicables a estos cálculos hidrometeorológicos es el Método Racional Modificado (Témez, 1978), que ha sido el seleccionado para este estudio por estar adaptado a las condiciones de la Península Ibérica. Para la realización de los cálculos se ha utilizado la aplicación informática CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas) desarrollada por el CEDEX (2002) que utiliza como base de cálculo la formulación antes mencionada.

Mediante este método se han estimado en cada una de las once subcuencas seleccionadas los caudales máximos de avenida correspondientes a períodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años. Para este cálculo se han medido una serie de parámetros de las cuencas en base a la información cartográfica disponible (mapas topográficos, geológicos y de cultivos y aprovechamiento). Se detallan a continuación los fundamentos del Método Racional Modificado y los pasos seguidos en su aplicación.

### 7.1.1. EL MÉTODO RACIONAL MODIFICADO.

El método racional modificado se basa en la transformación de la precipitación máxima esperable de una cuenca en el caudal máximo que se registrará en el punto de desagüe de la misma. El método racional modificado se define mediante la siguiente expresión (Témez, 1978):

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6} \cdot K$$

donde:

Q es el caudal máximo probable para cada período de retorno, medido en m<sup>3</sup>/seg

C es el coeficiente de escorrentía, es un parámetro adimensional.

I es la intensidad máxima de la precipitación, medida en mm/hora

A es el área de la cuenca vertiente, medida en Km<sup>2</sup>

K es un coeficiente de uniformidad dependiente del tiempo de concentración, que se define como:

$$K = 1 + \left( \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14} \right)$$

Las limitaciones de este método recomiendan su utilización para cuencas no mayores de 3000 Km<sup>2</sup> y tiempos de concentración comprendidos entre 1 y 24 horas (Témez, 1991).

A continuación se especifica el significado y la forma de obtener cada uno de los parámetros que intervienen en este método.

#### 7.1.1.1. Intensidad máxima de precipitación

La intensidad máxima de precipitación es fundamental a la hora de estimar los caudales mediante el método racional, ya que este volumen de lluvia será el que genere el caudal máximo a la salida de la cuenca. La intensidad máxima de precipitación para cada período de retorno corresponde a la lluvia que puede generar un aguacero de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. La intensidad de lluvia va a estar, por tanto, estrechamente relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca y la precipitación máxima diaria según la expresión:

$$\frac{I}{I_d} = \left[ \frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1} - T_c^{0,1}}{0,4}}$$

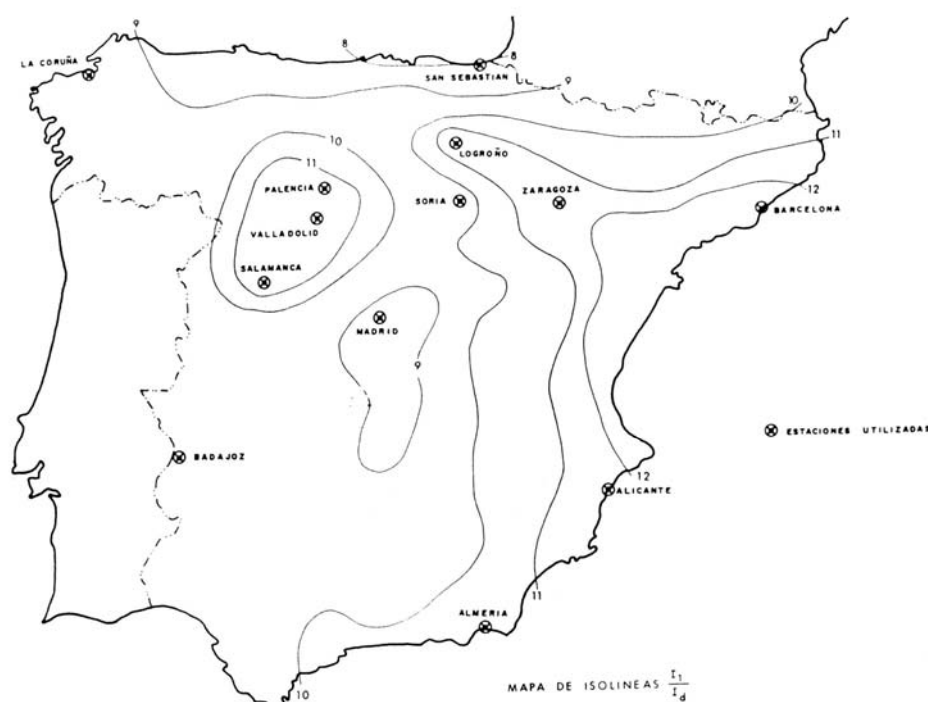
donde:

$I$  es la intensidad máxima de precipitación en mm/hora

$I_d$  es la intensidad máxima de precipitación diaria en mm/hora. Este parámetro corresponde a la distribución o reparto de la lluvia máxima diaria en 24 horas, según la expresión:  $I_d = P_d/24$ , siendo  $P_d$  la precipitación máxima diaria en mm. para cada período de retorno, que se estimará en el próximo apartado (Tabla 7.2).

$I_1/I_d$  es el parámetro que define las curvas intensidad-duración de la lluvia (Figura 7.1) y representa la relación existente en diversos puntos geográficos de la Península Ibérica entre la intensidad de lluvia horaria y diaria.

$T_c$  es el tiempo de concentración de la cuenca en horas



**Figura 7.1** – Distribución de isolinías de intensidad horaria/intensidad diaria  $I_1/I_d$  de precipitación en la Península Ibérica (Témez, 1978)

A su vez, el tiempo de concentración de la cuenca se define teóricamente como el tiempo máximo que necesita la última gota de lluvia caída en el punto más alejado de la cuenca para llegar hasta el punto de desagüe de la misma. Una forma de estimar el tiempo de concentración es mediante la relación entre la longitud del cauce principal y la pendiente media del cauce principal (Témez, 1978), según la siguiente expresión:

$$T_c = 0,3 \cdot \frac{L^{0,76}}{J^{\frac{1}{4}}}$$

donde:

$T_c$  es el Tiempo de concentración en horas

$L$  es la longitud en Km. del cauce principal

$J$  es la pendiente media del cauce principal medida en m/m. La pendiente dependerá de la cota máxima ( $Z_{max}$ ) y mínima ( $Z_{min}$ ) del cauce.

Los resultados de las medidas de estos parámetros y el cálculo del tiempo de concentración aparecen reflejados en la *Tabla 7.3*

A continuación se han analizado los datos de precipitación máxima diaria utilizados para este cálculo de la intensidad de precipitación.

### 7.1.1.2. Tratamiento de los datos de precipitación

Se han seleccionado una serie de estaciones meteorológicas siguiendo criterios de proximidad a las once cuencas de estudio y de calidad y continuidad en la serie de datos (*Figura 7.2*). De estas estaciones se han obtenido las series de precipitación máxima diaria, registrada desde 1945 hasta la actualidad, a partir de los datos proporcionados por el I.N.M. – Instituto Nacional de Meteorología (*Tabla 7.1*). En cada cuenca se han calculado las máximas precipitaciones probables para períodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, aplicando a las series de precipitación máxima diaria distintas funciones de distribución combinadas con métodos de ajuste probabilísticos.

De todos los ajustes realizados se han seleccionado para este estudio los resultados obtenidos mediante el método GEV\_momentos (*Tabla 7.2*), por ser uno de los ajustes que arroja los valores de precipitación máxima probable más altos, que son los que se deben tener en cuenta para la estimación de caudales máximos de avenida, y por ser además el que presenta un mejor ajuste gráfico de la curva de probabilidades a la distribución de los datos de partida.

Para obtener una única serie ajustada de precipitación máxima probable en cada cuenca (*Tabla 7.2*), se ha aplicado el método de los polígonos de Thiessen, que permite estimar una media ponderada de las precipitaciones de la cuenca teniendo en cuenta el área de influencia de cada estación meteorológicas. En las cuencas en las que existen escasas estaciones meteorológicas se ha calculado una única precipitación areal mediante la media aritméticas de las estaciones disponibles.



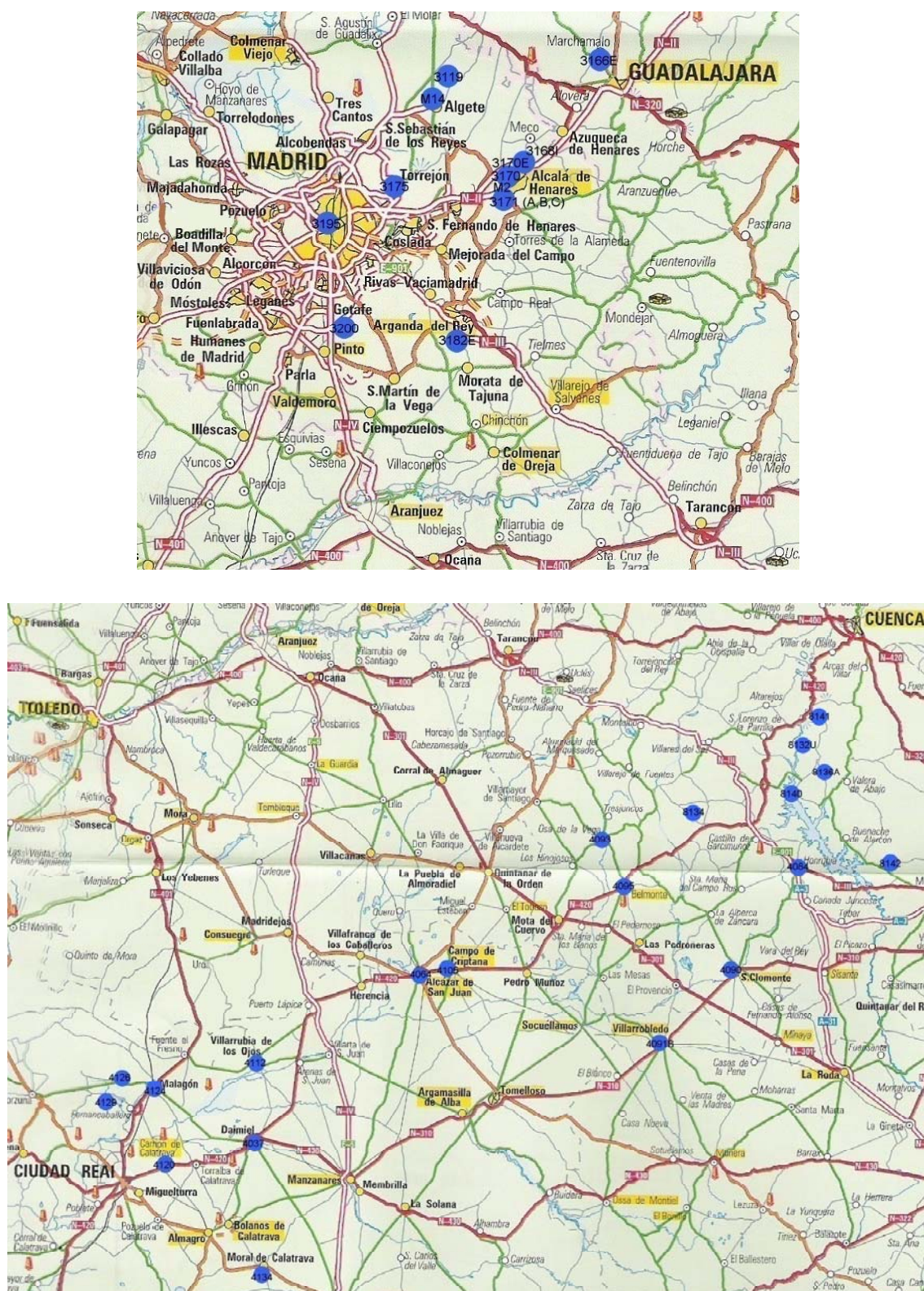


Figura 7.2 – Situación de las estaciones meteorológicas de las once cuencas estudiadas del Tago y del Guadiana

INDICATIVO	NOMBRE_ESTACIÓN	PROVINCIA	SUBCUENCAS
4091B	Villarrobledo-2	ALBACETE	Záncara
4037	Daimiel	CIUDAD REAL	Azuer
4129	Pantano Gasset	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4126	Cristo del Espíritu Santo	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4124	Malagón	CIUDAD REAL	Becea-Bañuelos
4064	Alcázar de San Juan	CIUDAD REAL	Cigüela
4112	Villarrubia de los Ojos	CIUDAD REAL	Cigüela; Amarguillo
4105	Campo de Criptana	CIUDAD REAL	Záncara
8134	Piqueras del Castillo	CUENCA	Tajuña
8140	Pantano de Alarcón	CUENCA	Tajuña
4095	Belmonte	CUENCA	Záncara
4090	San Clemente	CUENCA	Záncara
4093	Osa de la Vega	CUENCA	Záncara
8132U	Albadalejo Cuende	CUENCA	Záncara
4084	Honrubia	CUENCA	Záncara
3175	Torrejón	MADRID	Bañuelos-Alcalá; Arroyo de la Vega
M2	Alcalá-Canaleja	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3168I	Cabanillas	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3171A	Alcalá-Campo del Ángel	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3171B	Alcalá-depuradora aguas	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3171C	Alcacá-cereal y cultura	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3170E	Alcalá-campo experimental	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3171	Alcalá-base aérea	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3170	Alcalá-Encino	MADRID	Bañuelos-Alcalá
3195	Madrid Retiro	MADRID	Manzanares
M14	Algete	MADRID	Paeque
3119	Fuente el Saz-Jarama	MADRID	Paeque
3182E	Arganda-comunidad	MADRID	Tajuña

**Tabla 7.1-** Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la precipitación en las subcuencas estudiadas

### SUBCUENCAS DEL GUADIANA

SUBCUENCAS	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
Azuer-Daimiel	66	78	90	104	126
Azuer-Vallehermoso					
Bañuelos	82,4	95,5	109,4	125,3	148,4
Becea					
Cigüela-Buenavista	68	87,5	100	122,5	161,5
Záncara	76,3	87	98,7	111,2	128,6

### SUBCUENCAS DEL TAJO

SUBCUENCAS	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
Arroyo Vega	57,9	65	72,2	80	90,2
Bañuelos	53,94	58,7	63,1	67,4	72,9
Manzanares-Vaciamadrid	56	64	73	83	97
Paeque	60	67	74	82	92
Tajuña	82	96	111	128	152

**Tabla 7.2 -** Precipitación máxima areal en mm. para períodos de retorno de 25 a 500 años obtenida a partir del ajuste GEV\_momentos ponderados para las diferentes subcuencas.

### 7.1.1.3. Coeficiente de escorrentía y estimación final de caudales

El coeficiente de escorrentía es el parámetro que condiciona la cantidad de agua que, procedente de la precipitación, llegará hasta el río, considerando el volumen de agua que se pierde en los procesos de infiltración y retención superficial.

En el cálculo de este parámetro intervienen dos factores fundamentales, por un lado, el umbral de escorrentía ( $P_o$ ) que depende de la vegetación, de la pendiente y de la litología de la cuenca. Por otra parte, en el cálculo del coeficiente de escorrentía hay que considerar la precipitación máxima diaria. La expresión que define este coeficiente es la siguiente:

$$C = \frac{(P_d - P_o) \cdot (P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2}$$

donde:

$C$  es el coeficiente de escorrentía, adimensional, para cada período de retorno

$P_d$  es la precipitación máxima diaria, en mm., para cada período de retorno

$P_o$  es el umbral de escorrentía, en mm.

El umbral de escorrentía define la cantidad de lluvia caída en la cuenca que se pierde por infiltración, retención o intercepción, y por encima de la cual comienza a formarse escorrentía superficial. Para el cálculo del umbral se han separado las cuencas en una serie de zonas de escorrentía (*Anexo VIII*). Estas zonas de escorrentía se han delimitado superponiendo la información litológica de cada cuenca extraída de los mapas geológicos correspondientes (*ITGE, 1971-72*), las pendientes delimitadas a partir de la topografía de las cuencas (*IGN, 1998 y 1988*) y la cubierta vegetal y cultivos, sintetizada a partir de los mapas de aprovechamiento y cultivos (*MAPA, 1979-1985*). A cada una de estas zonas de escorrentía se le asigna un valor de  $P_o$  provisional en función de sus características de acuerdo con los valores de  $P_o$  obtenidos por el Soil Conservation Service (*Figura 7.3*) en investigaciones realizadas en Estados Unidos sobre parcelas experimentales (*Témez, 1978*). Para cada una de las cuencas se obtiene un único valor ponderado, en función de su área, de este factor  $P_o$  provisional. Este valor se multiplica por un factor regional, representado en la *Figura 7.4*, para adecuarlo a la Península Ibérica y a la región geográfica en la que se sitúa cada cuenca, obteniéndose así un valor definitivo del umbral de escorrentía  $P_o$  para cada cuenca (*Tabla 7.3*), a partir del cual se obtendrá el valor de  $C$ .

Una vez calculados todos los parámetros que intervienen en la fórmula inicial (*Tabla 7.3*), se han estimado los caudales máximos para períodos de retorno de 25 a 500 años en cada una de las once cuencas consideradas en el estudio, y que quedan resumidos en la *Tabla 7.4*.



Uso de la tierra	Pendiente %	Características hidrologicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	$\geq 3$	R	15	8	6	4
	$\geq 3$	N	17	11	8	6
	$< 3$	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	$\geq 3$	R	23	13	8	6
	$\geq 3$	N	25	16	11	8
	$< 3$	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	$\geq 3$	R	29	17	10	8
	$\geq 3$	N	32	19	12	10
	$< 3$	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	$\geq 3$	R	26	15	9	6
	$\geq 3$	N	28	17	11	8
	$< 3$	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	$\geq 3$	R	37	20	12	9
	$\geq 3$	N	42	23	14	11
	$< 3$	R/N	47	25	16	13
Praderas	$\geq 3$	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	—	33	18	13
		Muy buena	—	41	22	15
	$< 3$	Pobre	58	25	12	7
		Media	—	35	17	10
		Buena	—	—	22	14
		Muy buena	—	—	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	$\geq 3$	Pobre	62	26	15	10
		Media	—	34	19	14
		Buena	—	42	22	15
	$< 3$	Pobre	—	34	19	14
		Media	—	42	22	15
		Buena	—	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	—	34	22	16
		Espesa	—	47	31	23
		Muy espesa	—	65	43	33
Rocas permeables	$\geq 3$				3	
	$< 3$				5	
Rocas impermeables	$\geq 3$				2	
	$< 3$				4	

Figura 7.3 – Valores provisionales del parámetro  $P_0$  en función de las características de la cuenca (valores experimentales del Soil Conservation Service (Témez, 1978)



Figura 7.4 – Multiplicador regional del parámetro  $P_0$  (Témez, 1978)

	Azuer-Daimiel	Azuer-Vallehermoso	Cigüela-Buenavista	Manzanares-Vaciamadrid	Arroyo. de la Vega	Tajuña	Paeque	Bañuelos-Tajo	Becea	Bañuelos-Guadiana	Záncara
A (Km <sup>2</sup> )	1699	470	3600	1240	25	2029	34,61	16,03	123	312	906
L (Km)	100	29	152	77	9	150	23,5	11,95	17,5	22	91
Zmax (m)	1000	1000	1100	2262	720	1254	854	769	980	994	1100
Zmin (m)	618	750	620	600	615	649	600	580	760	650	699
I <sub>1</sub> /I <sub>d</sub> (mm/hora)	9	9	9	9,2	9	9,5	9	9	9,2	9,2	9,5
Po (mm)	47,4	52,234	38,71	39,07	35,2	53,27	35,21	29,83	31,5	34,645	40,95
Tc (horas)	28,61	9,57	40,78	16,88	3,71	38,54	7,81	4,35	6,07	6,93	25,92

**Tabla 7.3** - Parámetros utilizados para la estimación de caudales máximos de avenida por el método racional.

Q(m <sup>3</sup> /seg)	Azuer-Daimiel	Azuer-Vallehermoso	Cigüela-Buenavista	Manzanares-Vaciamadrid	Arroyo. de la Vega	Tajuña	Paeque	Bañuelos-Tajo	Becea	Bañuelos-Guadiana	Záncara
Q25	27,9	6,4	164,2	36,2	6,2	70,6	6,7	4,9	60,5	110,3	85,1
Q50	101,2	43,7	429,2	88,5	9,3	163,3	9,8	6,5	83,8	158	140,8
Q100	191,7	90,3*	640	158,8	12,7	283,6	13,3	8,2	112,4	217	205,3
Q200	317,5	155,4	1086,7	250,4	17,2	444,3	17,7	10	146,8	288,7	284,9
Q500	555,1	279,3*	2038	400,6	23,3	711	23,8	12,5	200,6	401,8	412,5

**Tabla 7.4** - Caudales máximos de avenida (m<sup>3</sup>/seg), estimados por el método racional, aplicando el programa CHAC en las diferentes cuencas.

## 7.2. LOS REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES DE AVENIDA

En esta parte del estudio se analizan los caudales registrados en distintos eventos de inundación ocurridos en algunas cuencas del Tajo y del Guadiana partir de la información histórica disponible. Para ello se han consultado los registros históricos de las diversas fuentes de información ya reseñadas (*apartado 9.1*). Estos datos de caudal de avenida o alturas alcanzadas por el agua en las poblaciones afectadas, son escasos y, salvo en registros coincidentes con datos de aforo, difícilmente contrastables. Solo algunos datos posteriores a 1910 se han podido verificar en los registros de aforo. En algunos casos se dispone también de los hidrogramas de crecida correspondientes a la fecha en que se registró la inundación.

El objetivo de este análisis de datos de caudal histórico, es fundamentalmente, la comparación con los caudales obtenidos por otras metodologías (método racional modificado y ajuste probabilístico de caudales aforados). Con esta comparación de caudales se puede asignar un período de retorno aproximado a cada dato de caudal histórico registrado, y por tanto estimar la recurrencia de ese evento concreto de inundación. En las siguientes tablas (*Tabla 7.5, Tabla 7.6, Tabla 7.7*) se resumen los datos históricos de caudales máximos alcanzados en cada inundación referida y, en algunos casos, de las alturas alcanzadas por el agua.

Según esta información, existe un mayor número de registros históricos de caudales en las cuencas del Tajo, donde la red de aforos está muy bien desarrollada y es una red muy densa, motivado en parte por ser una cuenca muy regulada y con una alta ocupación. Esto se aprecia sobre todo en las cuencas del Jarama y del Henares. Se observa además que los caudales causantes de inundaciones son mucho menores en las cuencas del Guadiana, lo que se explica en parte por el escaso encajamientos de los cauces en esta cuenca, presentando menor capacidad para albergar altos caudales.

Año	Mes	Ríos	Poblaciones	Caudales históricos
1856	Enero	Manzanares; Jarama; Tajo; Guadiela; Alberche	Madrid; El Pardo; Aranjuez; Tembleque; la Mancha; Entrepeñas; Sacedón; Auñón; Talavera de la Reina; Escalona	7000 m3/seg. (Tajo en Alcántara)
1876	Diciembre	Tajo; Jarama	Garrovillas; Alcántara; Toledo; Cabezuela; Verte; Tornavacas; Plasencia; Cembre; Montachez; Ceclavin; Aranjuez; Toledo	15800 m3/seg.; 1500 m3/seg. (Tajo en Portugal)
1922		Alberche		2120 m3/seg.
1926	Noviembre	Tajo		1504 m3/seg.
1936	Febrero	Tajo; Alberche; Henares; Jarama; Arroyo Luche	Tiemblo; Guadalajara; Talavera de la Reina; Escalona; Aranjuez; San Fernando de Henares; Alcalá de Henares	4 m. sobre nivel ordinario (Henares)
1939	Febrero	Escabas	Priego	<b>52 m3/seg.</b>
1941	Enero	Tajo; Guadiela; Henares; Tajuña; Alberche; Gébal; Jarama	Zorita; Aranjuez; Arganda; Titulcia; San Martín de la Vega; Ciempozuelos; Guadalajara; Tielmes; Talavera de la Reina; Alcaudete de la Jara	<b>2000 m3/seg.</b> (Tajo en Zorita); <b>2500 m3/seg.</b> (Jarama en Aranjuez); <b>630 m3/seg.</b> (Henares)
1943	Marzo	Alberche	Talavera de la Reina; El Burguillo	1420 m3/seg.
1943	Abril	Jarama	Velilla de San Antonio	<b>314 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada del Campo)
1947	Marzo	Tajo; Jarama; Henares; Manzanares; Alberche	Aranjuez; Toledo; Talavera de la Reina; San Fernando de Henares; Rivas Vaciamadrid; Velilla de San Antonio; Sigüenza; Alcalá de Henares; Madrid; Arganda; Guadalajara	<b>988,5 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada del Campo); <b>540 m3/seg.</b> (Henares en Guadalajara)
1947	Marzo	Tajuña; Henares; Manzanares; Jarama; Tajo	Orusco	<b>112 m3/seg.</b> (Henares en Espinillos); <b>572 m3/seg.</b> (Manzanares en P.Sindical); <b>149 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); 1009 m3/seg (Tajo en Talavera de la Reina); 7320 m3/seg.
1948	Enero	Tajuña; Henares; Jarama; Tajo	Orusco	<b>112 m3/seg.-199 m3/seg.</b> (Henares en Espinillos); <b>972 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); 1800 m3/seg (Tajo en Talavera de la Reina).
1949	Septiembre	Henares; Mayor	Guadalajara; Valdemoches	<b>&gt; 1000 m3/seg.</b> (Río Mayor)
1958	Diciembre	Jarama; Tiétar	Real Acequia del Jarama	<b>124,6 m3/seg.</b> (Estación de Aforos N° 70 "Bombilla")
1961	Noviembre	Jarama	San Martín de la Vega; San Fernando de Henares	<b>494 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada)

**Tabla 7.5** - Caudales registrados en las avenidas de que se dispone información en la cuenca del Tajo

Año	Mes	Ríos	Poblaciones	Caudales históricos
1965	Noviembre	Cuervo	Presa la Tosca (Cuenca)	<b>250 m3/seg.</b>
1966	Noviembre	Henares;Jarama	Humanes	<b>223 m3/seg.; 465 m3/seg.</b> (Henares en Espinillos); <b>961 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada)
1967	Noviembre	Henares	Humanes	<b>323 m3/seg.</b>
1976	Noviembre	Bornova		40 m3/seg.
1976	Diciembre	Bornova;Manzanares	Vaciamadrid	55 m3/seg. (en el Bornova); <b>108 m3/seg.</b> (El Manzanares en Vaciamadrid)
1977	Enero	Jarama	Algete;Aranjuez	<b>287 m3/seg.</b> (Jarama en Algete); <b>590 m3/seg.</b> (Jarama en su desembocadura en Aranjuez)
1978	Febrero	Henares;Jarama	Humanes;Espinillos;Mejorada;Aranjuez	<b>214 m3/seg.</b> (Henares en Humanes); <b>326 m3/seg.</b> (Henares en Espinillos); <b>1040 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); <b>1004 m3/seg.</b> (Jarama en su desembocadura en Aranjuez)
1978	Marzo	Tajo; Jerte; Salor	Talavera de la Reina; Plasencia	7957 m3/seg. (Tajo en Portugal)
1978	Marzo	Tajo;Tiétar;Jerte;Salor	Talavera de la Reina; Plasencia	1148 m3/seg. (Tajo en Talavera de la Reina)
1978	Febrero	Tajuña;Henares;Jarama	Loranca;Humanes;Algete;Mejorada;Aranjuez	<b>35 m3/seg.</b> (Henares en Loranca); <b>222 m3/seg.</b> (Henares en Humanes); <b>428 m3/seg.</b> (Jarama en Algete); <b>918 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); <b>1070 m3/seg.</b> (Jarama en su desembocadura en Aranjuez)
1979	enero	Alberche	Presa de Cazalegas	1.200 m3/seg. (aliviadero de la presa)
1979	Febrero	Jarama;Alagón;Tajo;Arroyo Boquerón	Coria;Moraleja;Galisteo;la Saucella;Montehermoso;Riolobos	<b>428 m3/seg.</b> (Jarama en Algete); <b>918 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); <b>1070 m3/seg.</b> (Jarama en su desembocadura en Aranjuez)
1989	Diciembre	Tiétar, ;Alagón, ;Henares;Jarama, ;Guadarrama, Manzanares, Tajuña,	Coria, Paracuellos, San Fernando de Henares, Rivas Vaciamadrid, Vegas del Río Tajuña y Henares	<b>165 m3/seg.</b> (Henares en Humanes); <b>192 m3/seg.</b> (Henares en Espinillos); <b>428 m3/seg.</b> (Jarama en Algete); <b>918 m3/seg.</b> (Jarama en Mejorada); <b>1070 m3/seg.</b> (Jarama en su desembocadura en Aranjuez)

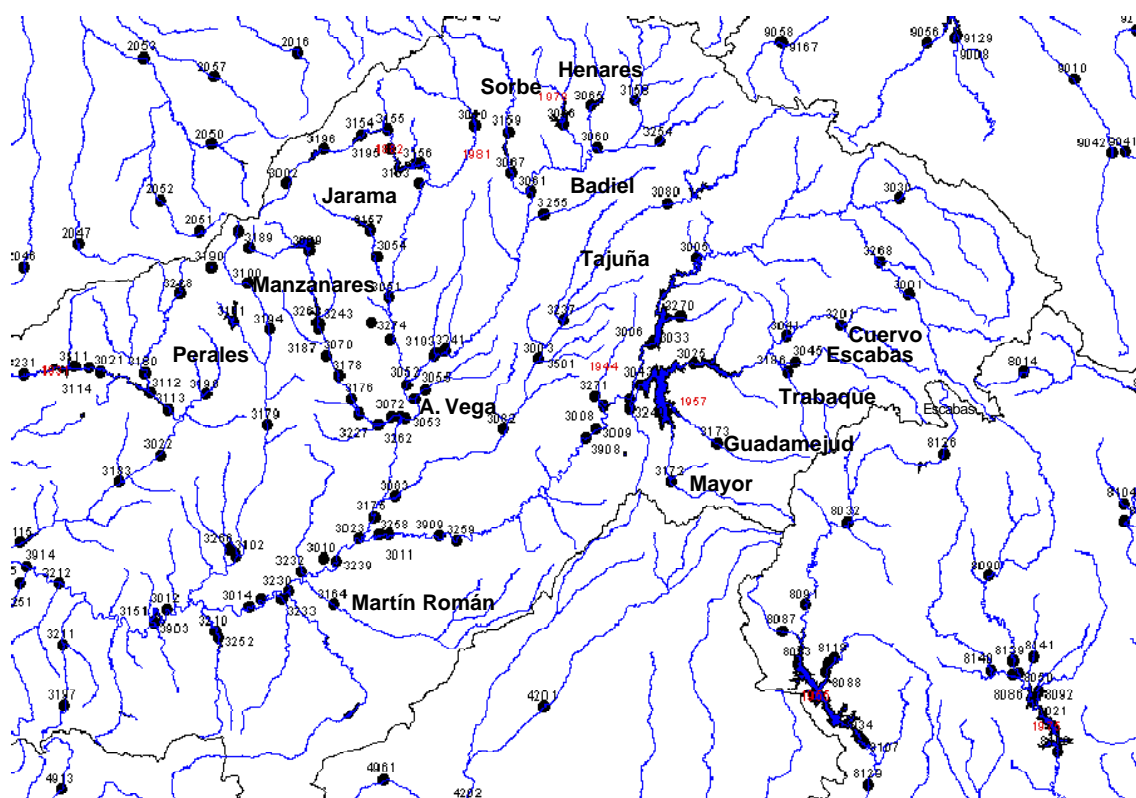
**Tabla 7.6** - Caudales registrados en las avenidas de que se dispone información en la cuenca del Tajo (continuación)

Año	Mes	Ríos	Poblaciones	Caudales históricos
1913		Bañuelo	Malagón	<b>90 m3/seg.</b>
1915	Mayo	Guadiana, Azuer	varias	<b>3,9 m3/seg</b> (Azuer)
1917	Febrero	Guadiana; Bañuelos; Rambla Castelar	Tomelloso;Torrenueva;Malagón;Badajoz	<b>98 m3/seg</b> (Bañuelos en Malagón)
1924	Marzo	Jabalón; Ojailén; Matachel	Puertollano;Alange(Badajoz);Granátula de Calatrava	<b>30 m3/seg</b> ( Jabalón en Granátula de Calatrava)
1926	Noviembre	Guadiana; Jabalón	Portillo de Cíjara; Aragonés	<b>30m3/seg</b> (Jabalón en la estación de Aragonés)
1926	Febrero	Guadiana; Jabalón		<b>30,2m3/seg</b> (Jabalón)
1927	Enero	Jabalón	Aragonés	<b>30,2 m3/seg</b> (Jabalón en la estación de Aragonés)
1927	Enero	Jabalón		<b>30,2 m3/seg</b> (Jabalón en Granátula de Calatrava)
1927	Diciembre	Jabalón	Granátula de Calatrava	<b>30,2 m3/seg</b>
1928	Enero	Jabalón		<b>30 m3/seg</b>
1928	Noviembre	Záncara	El Provencio	<b>18,5m3/seg</b> (El Provencio)
1936	Febrero	Guadiana; Olivenza; Záncara	Badajoz;Olivenza;Carrascosa del Haro	17m3/seg (Carrascosa del Haro)
1941	Enero	Guadiana; Rivillas; Gévora; Bañuelo; Jabalón; Azuer; Tinto	Badajoz;Mérida;ZarzaCapilla;Robledo;Porzuna;Fernancaballero Puente del Arzobispo;Membrilla;Manzanares;Puerto de Moguer;San Juan del Puerto; Cíjara	<b>21,4m3/seg</b> (Azuer)
1979	Julio	Arroyo Veguilla; Jarosa	Valdepeñas	150 m3/seg
1979	Septiembre	Rus; Riánsares	El Cañavete;Corral de Almaguer	>25 m3/seg

**Tabla 7.7** - Caudales registrados en las avenidas de que se dispone información en la cuenca del Guadiana

### 7.3. LOS CAUDALES OBTENIDOS A PARTIR DE ESTACIONES DE AFORO

El análisis de caudales de estaciones de aforo ha consistido, fundamentalmente, en la aplicación de modelos matemáticos de ajuste probabilístico que permiten estimar un valor máximo probable de la variable caudal para distintos períodos de retorno. Los datos de partida utilizados para este análisis son los caudales máximos diarios medidos desde 1911 hasta la actualidad en una serie de estaciones de aforo de las cuencas del Tajo y del Guadiana (*Figura 7.5* y *Figura 7.6*) y proporcionados por el CEDEX. De estos aforos se han escogido las series más completas y continuas de caudal máximo diario, en los tramos de cuenca no regulados o pertenecientes a fechas anteriores a la construcción de presas y embalses (*Tabla 7.9a* y *b*).



**Figura 7.5** - Esquemas de situación de los puntos de aforo existentes en las cuencas del Tajo

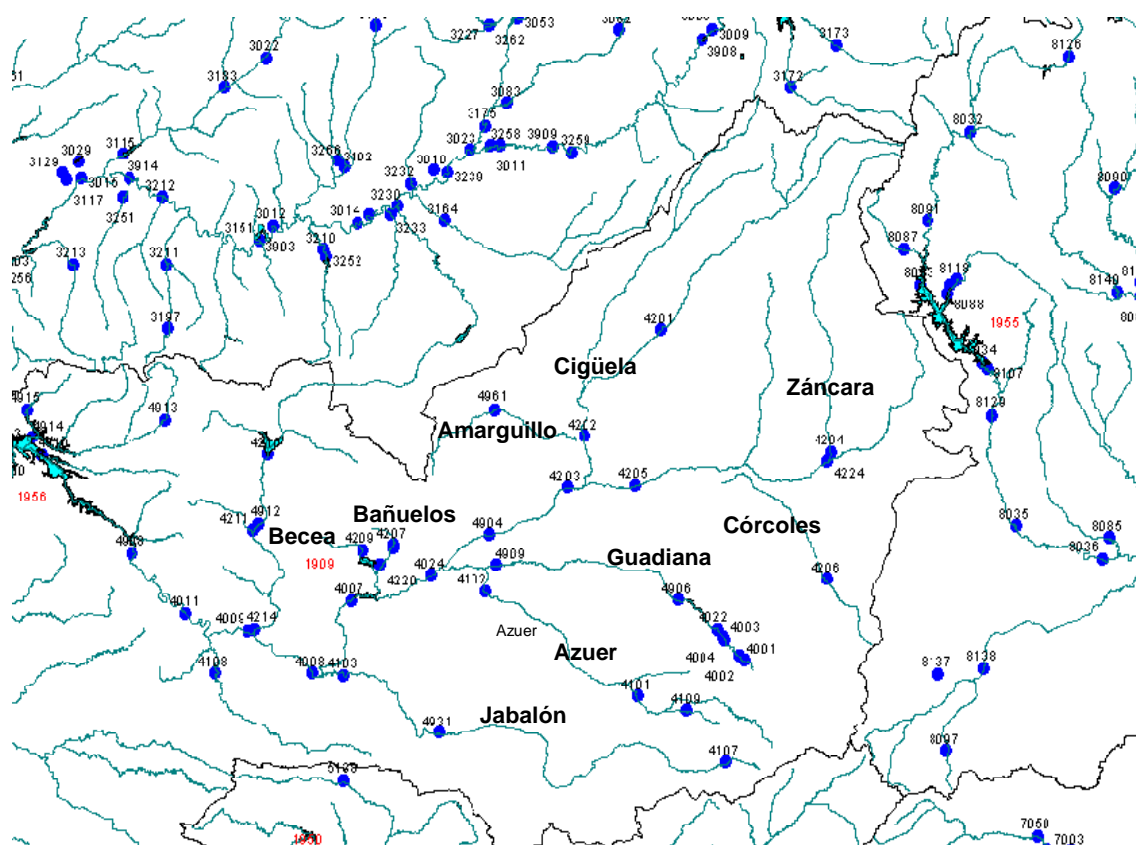


Figura 7.6 - Esquemas de situación de los puntos de aforo existentes en las cuencas del Guadiana

CUENCAS	Nº ESTACIÓN	SUBCUENCAS	AÑOS DE REGISTRO
TAJO	3274	Arroyo de la Vega	1978-1985
	3255	Badiel	1978-2000
	3062	Henares (Alcalá Henares-Espinillo)	1929-1995
	3201	Cuervo	1965-1986
	3045	Escabas	1911-2000
	3173	Guadamejud	1965-2000
	3060	Henares cabecera (Bujalaro)	1912-2000
	3172	Mayor	1965-2000
	3187	Manzanares (El Pardo)	1979-1999
	3177	Manzanares (Vaciamadrid)	1912-1994
	3164	Martín Román	1971-1992
	3051	Jarama (Algete)	1913-1994
	3011/3175	Tajo-Jarama (Aranjuez)	1911-1995
	3052	Henares-Jarama (Mejorada)	1911-2000
	3198	Perales	1968-1992
	3067	Sorbe	1913-2000
	3082	Tajuña	1915-1994
	3186	Trabaque	1968-2000

Tabla 7.8a - Estaciones de aforo y años de registro de caudales máximos diarios en las subcuencas estudiadas



CUENCAS	Nº ESTACIÓN	SUBCUENCAS	AÑOS DE REGISTRO
GUADIANA	4102	Azuer (Daimiel)	1948-1990
	4101	Azuer (Vallehermoso)	1913-1995
	4209	Becea	1919-1995
	4207	Bañuelos (Malagón)	1920-1995
	4203	Cigüela (Buenavista)	1946-1995
	4202	Cigüela (Quintanar Orden)	1948-1995
	4201	Cigüela (Villafranca)	1920-1942
	4206	Córcoles	1922-1983
	4906	Guadiana (Atajadero)	1912-1946
	4103	Jabalón	1949-1995
	4204	Záncara	1923-1974

**Tabla 7.9b** - Estaciones de aforo y años de registro de caudales máximos diarios en las subcuencas estudiadas (continuación)

Una vez seleccionadas las series de datos de partida, se han aplicado distintos modelos de ajuste probabilístico, que asignan probabilidades máximas de no excedencia a un valor estimado de la variable, para períodos de retorno determinados. La función de distribución seleccionada en este estudio ha sido la de valores Extremos Generalizados (GEV) que es una de las más adecuadas para el análisis de valores extremos regionales de la variable, y por tanto, para el análisis de caudales máximos de avenida, además es una de las de uso más extendido a nivel internacional (WMO, 1989; Ferrer, 1992 y Díez Herrero, 2002).

En cuanto al método de ajuste probabilístico, se ha elegido el de los momentos ponderados, que confiere mayor peso a los valores mayores de la serie, por lo que es también adecuado a la hora de estudiar los caudales de avenida y, en general, los valores extremos.

Se han seleccionado para este análisis, por tanto, los resultados obtenidos del ajuste probabilístico mediante el método GEV\_momentos ponderados, por ser el que presenta un mejor ajuste gráfico de la curva de probabilidades a la distribución de los datos de partida (Anexo VI). Los resultados de este ajuste se presentan en la *Tabla 7.10* que representa los valores de caudales máximos esperables en los diferentes períodos de retorno en las subcuencas seleccionadas.

### SUBCUENCAS DEL GUADIANA

SUBCUENCAS	Q 2	Q 5	Q 10	Q 25	Q 50	Q 100	Q 200	Q 500	Tamaño subcuenca (Km <sup>2</sup> )
Azuer-Daimiel	2	4	6	9	12	16	20	28	1699
Azuer-Vallehermoso	2	5	10	18	27	40	60	94	470
Bañuelos	5	14	24	42	60	87	123	192	312
Becea	4	10	19	35	52	80	118	199	123
Cigüela-Buenavista	10	20	27	35	42	48	55	63	3600
Cigüela-Quintanar	5	10	14	20	26	33	41	55	995
Cigüela-Villafranca	6	12	17	24	29	34	40	49	3367
Córcoles	1	2	2	4	6	8	11	17	92
Guadiana-Atajadero	5	9	12	16	19	22	26	31	1107
Jabalón	19	44	63	93	119	149	183	237	2389
Záncara	7	14	20	27	33	39	46	55	906

### SUBCUENCAS DEL TAJO

SUBCUENCAS	Q 2	Q 5	Q 10	Q 25	Q 50	Q 100	Q 200	Q 500	Tamaño subcuenca (Km <sup>2</sup> )
Arroyo Vega-Alcobendas	1	1	1	1	1	2	2	2	25
Badiel	1	2	3	5	8	14	22	42	325,4
Bañuelos	0,7	1,3	1,74	2,31	2,7	3,19	3,68	4,29	16
Cuervo	6	9	13	22	32	48	73	126	350,8
Escabas	32	53	66	82	93	103	113	126	341,7
Guadamejud	4	7	9	14	19	25	33	46	399,98
Henares-cabecera	43	83	116	156	212	223	286	312	1285
Henares-Espinillo	177	331	438	580	689	802	919	1080	3999,3
Jarama-Mejorada	182	391	573	868	1146	1485	1898	2589	6949
Jarama-Algete	56	123	182	281	376	495	642	895	2598,5
Jarama-Aranjuez	102	183	265	419	586	814	1128	1729	3581,7
Manzanares-El Pardo	19	48	74	119	164	221	293	420	537
Manzanares-Vaciamadrid	60	96	124	164	198	235	276	337	1240
Martín Román	4	8	10	13	14	16	18	20	1295,3
Mayor	3	6	9	13	17	23	29	39	419,8
Paeque	0,74	1,64	2,7	3,97	5	7	9	12,6	34,6
Perales	19,9	41,2	58	80,5	99,9	121,1	144,4	178,9	1122,9
Sorbe	43	72	94	122	145	169	195	231	439
Tajuña	20	41	58	86	112	143	181	242	2029
Trabaque	6	12	18	27	36	47	60	83	217,5

**Tabla 7.10** - Caudales máximos probables (m<sup>3</sup>/seg) obtenidos mediante ajuste GEV\_momentos ponderados para los diferentes períodos de retorno, y en relación con la extensión de las subcuencas estudiadas

## 7.4. LOS CAUDALES DEDUCIDOS DE LOS HIDROGRAMAS DE AVENIDA

Se han trazado los hidrogramas, o gráficos de variación temporal de caudales máximos diarios aforados, correspondientes a algunas de las avenidas históricas registradas en las cuencas del Tajo y el Guadiana, con el fin de complementar los datos históricos existentes. Este análisis de hidrogramas solo se ha podido realizar en los casos en que existe datos de aforo en el mes y año en que se registra la inundación de la que, a pesar de no se disponer de información histórica sobre caudales, se puede deducir a través de estos hidrogramas (Tabla 7.11, Gráfico 7.1, Gráfico 7.2 y Gráfico 7.3).

Cuenca		Fecha de la inundación histórica		Hidrograma
		Mes	Año	Estación de aforo
Tajo	Henares	Ene.	1948	3052 3062
		Sep.	1949	3052
		Sep.	1963	3052 3060 3062
		Ene.	1970	3062
	Jarama	Ene.	1956	3052
		Sep.	1960	3052
		Abr.	1968	3052
		Mar.	1969	3052
	Manzanares	Ene.	1970	3177
		Jul.	1996	3177
		Nov.	1997	3177
	Cuervo	Ene.	1968	3201
Guadiana	Guadiana	May.	1917	4906
		Feb.	1926	4906
		Nov.	1926	4906
	Becea-Bañuelos	Ene.	1952	3209
	Bañuelos	Ene.	1979	3207
	Záncara	Nov.	1972	4204

**Tabla 7.11** - Fechas de inundaciones históricas en cuencas del Tajo y del Guadiana en las que existen datos de aforo para elaborar los hidrogramas que complementan la información disponible.

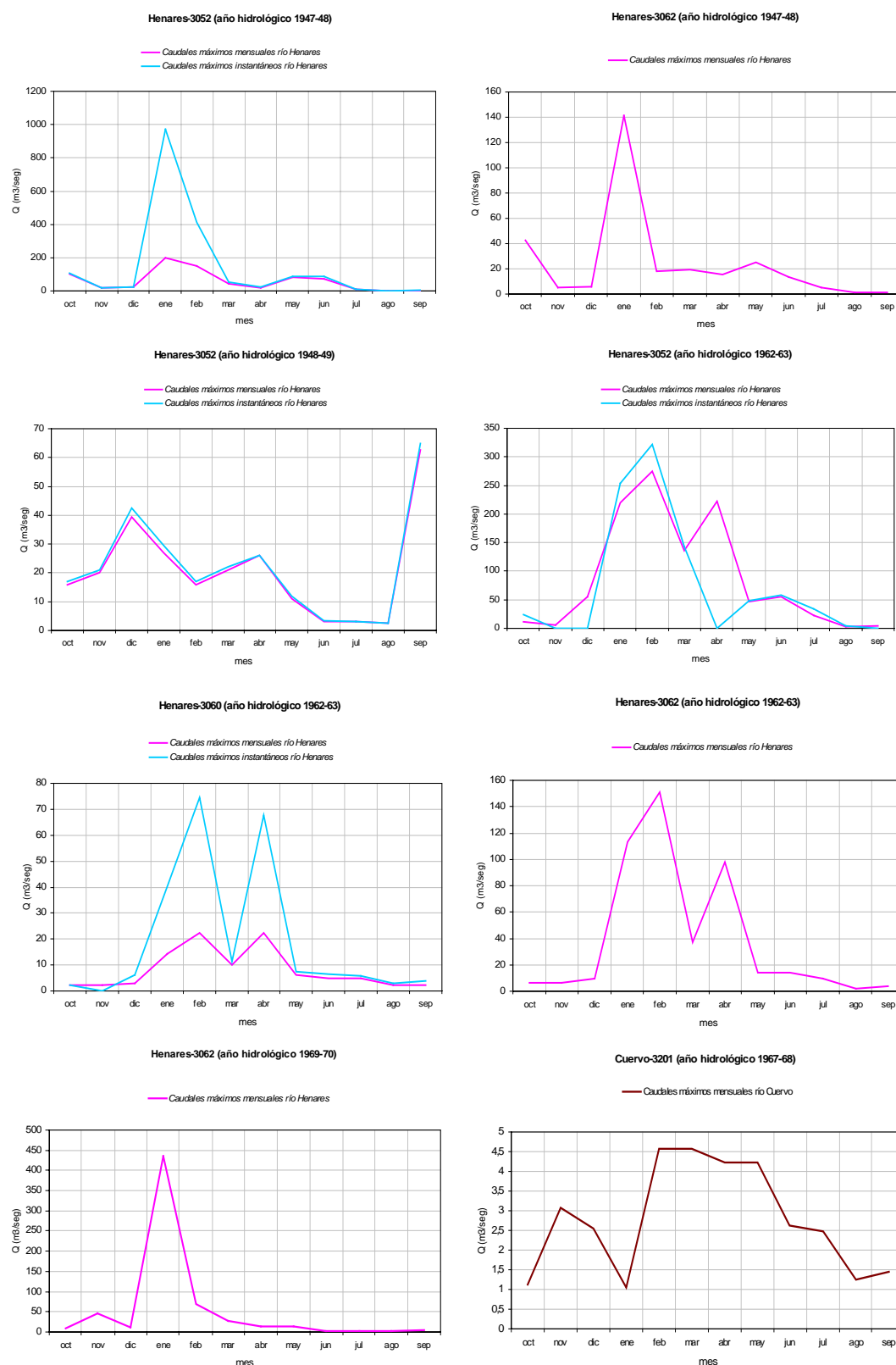


Gráfico 7.1 – Hidrogramas analizados en las cuencas del Tajo

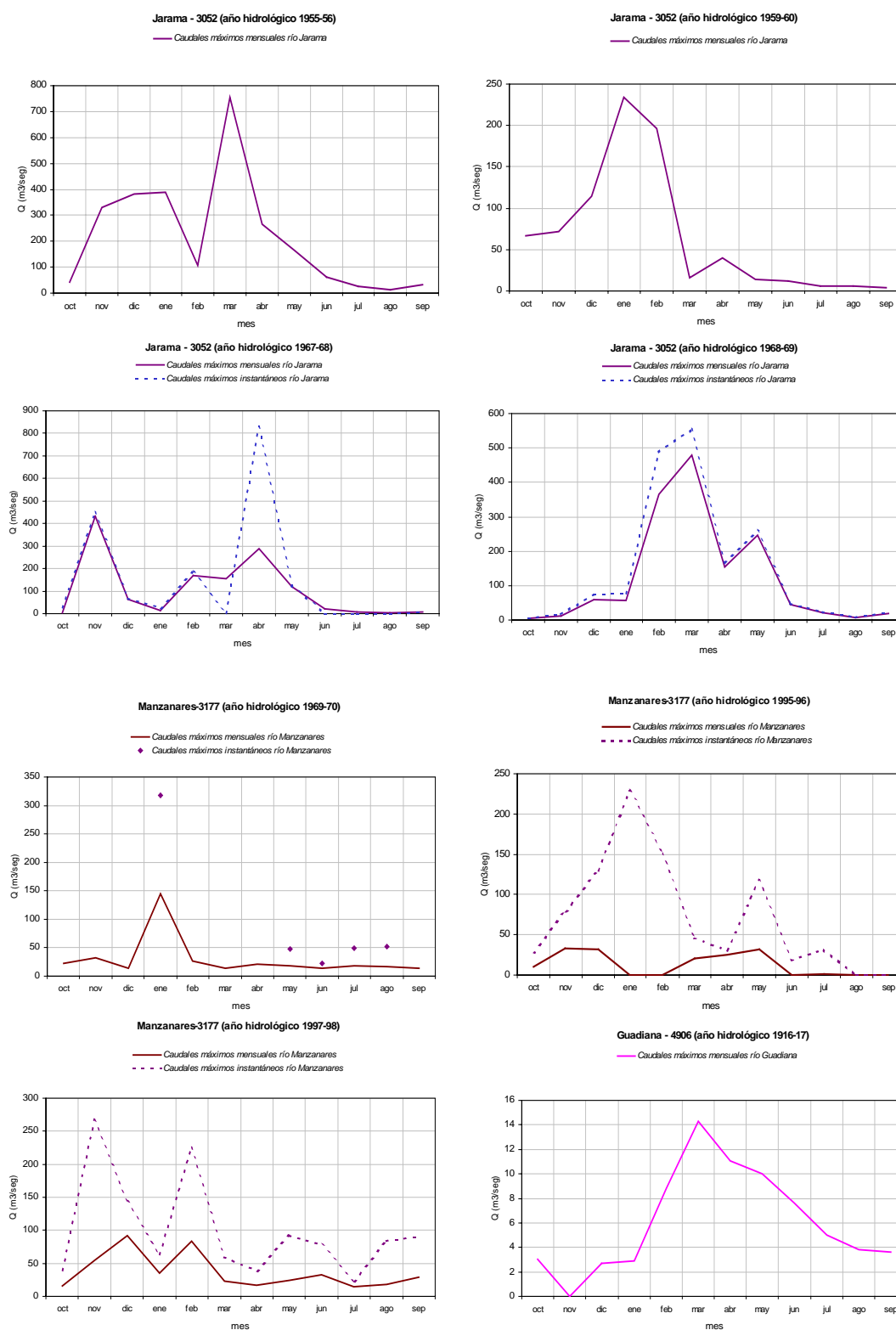
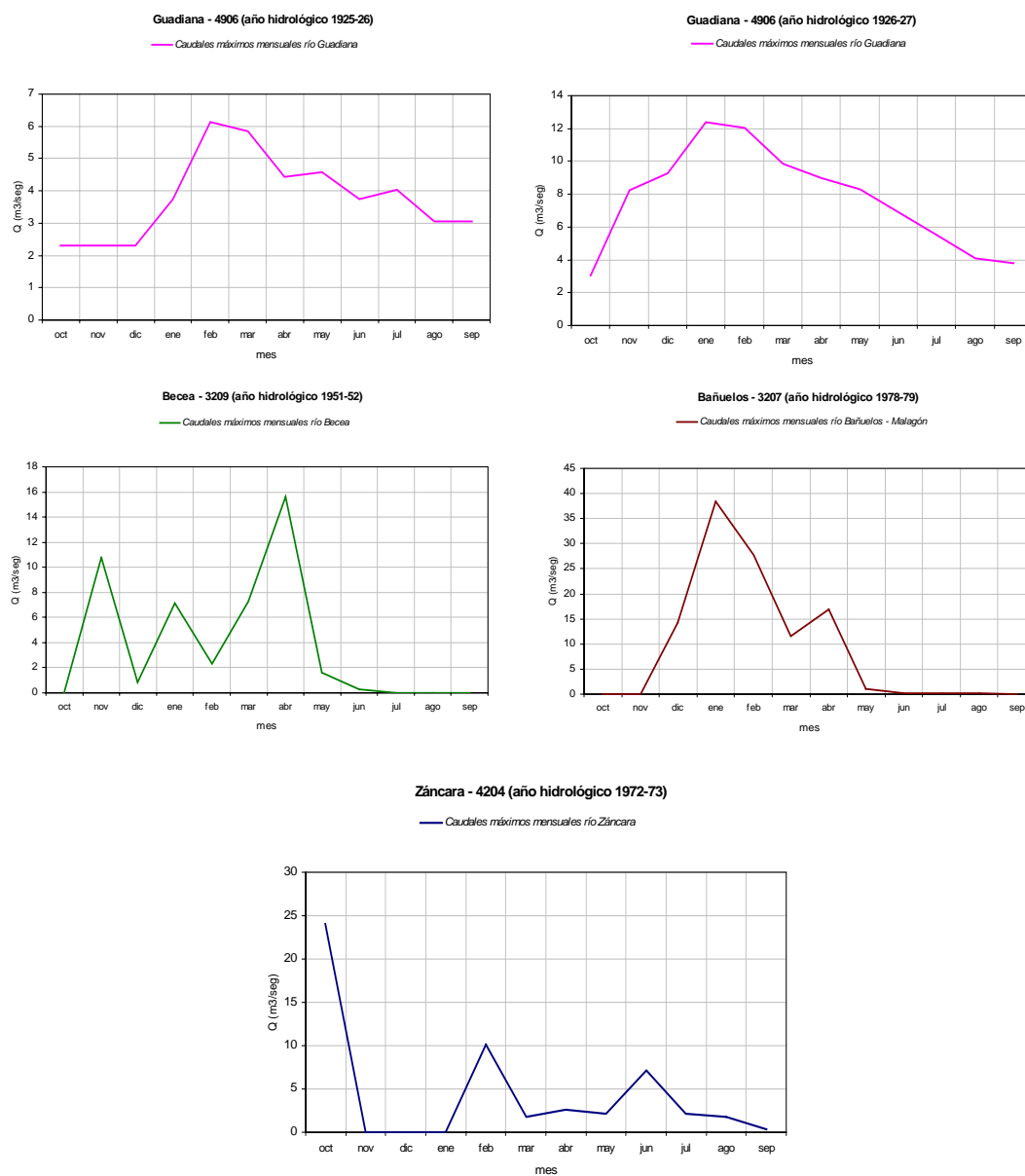


Gráfico 7.2– – Hidrogramas analizados en las cuencas del Tajo y Guadiana



**Gráfico 7.3 -** – Hidrogramas analizados en las cuencas del Guadiana

Del análisis de los caudales de hidrogramas, se observa que en las cuencas del Tajo los caudales máximos se registran con mayor frecuencia en invierno, sobre todo en los meses de Febrero y Marzo y en primavera se registran ocasionalmente caudales altos pero sin llegar al pico de máximo caudal. En las cuencas del Guadiana los caudales máximos se registran en otoño, invierno y comienzo de la primavera. Llama la atención el hecho de que en los hidrogramas de la cuenca del Tajo las curvas de concentración, hasta alcanzar el caudal punta, tienen pendientes mucho más pronunciadas que los hidrogramas correspondientes al Guadiana, también por lo general el tiempo de crecida es menor en las cuencas del Tajo. Este hecho es muy importante ya que nos está indicando que en la cuenca del Tajo se produce una respuesta más rápida del sistema en la generación de caudales ante una alta lluvia o un aporte de agua de deshielo.

Los caudales históricos y los caudales punta del hidrograma correspondiente deberían ser similares, pero vemos que no en todos los casos coinciden, esto puede ser debido a que el caudal especificado en el registro histórico puede corresponder a un caudal instantáneo, mientras que los caudales de hidrograma corresponden a caudales máximos diarios, o puede ser debido a una falta de coincidencia en el punto de aforo analizado y o en la fecha, ya que este dato no siempre se especifica en el registro histórico. En cualquier caso, se puede utilizar el caudal punta del hidrograma como caudal de referencia, cuando el caudal histórico es inexistente.

## **7.5. COMPARACIÓN DE LOS CAUDALES OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS**

Se han contrastado los datos de caudal extraídos del registro histórico de inundaciones, los caudales estimados mediante el método hidrometeorológico, los aforados y ajustados probabilísticamente y los caudales punta de los hidrogramas correspondientes a las inundaciones de que se dispone de datos. El objetivo de este análisis es determinar el período de recurrencia asociado al caudal histórico registrado y comprobar los resultados obtenidos mediante las distintas metodologías. En la *Tabla 7.12*, *Tabla 7.13* y *Tabla 7.14* se resumen los resultados de este análisis comparativo, mostrando la fecha de la inundación histórica, el punto de la cuenca donde se registró la inundación y los distintos caudales obtenidos y períodos de retorno estimados.

Fecha inundación	Cuenca	Caudales (m³/seg.)				Períodos de retorno estimados (años)		
		Registrados	Deducidos de hidrograma	Aforados-ajustados probabilísticamente	Estimados método racional	Para caudales aforados	Para caudales método racional	Rango de períodos de retorno de los caudales registrados
Feb. 1939	Escabas-Priego	52		53-66		5-10		10
Ene 1941	Jarama-Aranjuez	2500		1729		500		> 500
Ene. 1941	Henares	630		580		25		25
Abr. 1943	Jarama-Mejorada	314		391		5		5
Mar. 1947	Jarama-Mejorada	988,5		868-1146		25-50		25-50
Mar. 1947	Henares-Guadalajara	540		1080				25
Mar. 1947	Henares-Espinillo	112		117		2		2-5
Mar. 1947	Manzanares-Madrid	572		337	472,2	500	500	>500
Mar. 1947	Jarama-Mejorada	149		182		2		2
Ene 1948	Henares-Alcalá		998	1080		500		500
Ene 1948	Henares-Espinillo	112-199		177		2		2
Ene 1948	Jarama-Mejorada	972		868-1146		25-50		25-50
Sep. 1949	Henares-Guadalajara		65	117		2		2
Sep. 1949	Mayor	1000		39		500		>500
Ene. 1956	Jarama		380	376		50		50
Dic. 1958	Jarama	124,6		123		5		5
Sep. 1960	Jarama		230	281		25		25
Nov. 1961	Jarama-Mejorada	494		573		10		10
Sep. 1963	Henares		75	177		2		<2
Nov. 1965	Cuervo-La Tosca	250		126		500		500
Nov. 1966	Henares-Espinillo	223		177-331		2-5		2-5
Nov. 1966	Henares-Espinillo	465		438		10		10
Nov. 1966	Jarama-Mejorada	961		895		500		>500
Nov. 1967	Henares-Humanes	323		331		5		5
Ene 1968	Cuervo		4,5	6		2		2
Abr. 1968	Jarama-S. Martín Vega		300	376		50		50
Mar. 1969	Jarama-S. Martín Vega		550	495		100		100
Ene. 1970	Henares- Alcalá		1200	1080		500		>500
Ene. 1970	Manzanares-Madrid		180	198	158,8	50	100	>50
Dic. 1976	Manzanares-Vaciamadrid	108		124	88,5	10	50	10-25
Ene 1977	Jarama-Algete	287		281		25		25
Ene 1977	Jarama-Aranjuez	590		586		50		50
Feb. 1978	Henares-Humanes	214		117		2		2
Feb. 1978	Henares-Espinillo	326		331		5		5
Feb. 1978	Jarama-Mejorada	1040		1146		50		50
Feb. 1978	Jarama-Mejorada	918		868-1146		25-50		25-50
Feb. 1978	Jarama-Aranjuez	1004		814		100		>100
Feb. 1978	Henares-Humanes	222		177		2		2

**Tabla 7.12** - Comparación de caudales históricos registrados, caudales deducidos de los hidrogramas, caudales ajustados probabilísticamente a partir de datos de aforo y caudales estimados mediante método racional (Q en m3/seg) y estimación del período de retorno de la avenida histórica correspondiente. Cuenca alta del Tajo



Fecha inundación	Cuenca	Caudales (m³/seg.)				Períodos de retorno estimados (años)		
		Registrados	Deducidos de hidrograma	Aforados-ajustados probabilísticamente	Estimados método racional	Para caudales aforados	Para caudales método racional	Rango de períodos de retorno de los caudales registrados
Feb. 1978	Jarama-Algete	498		495		100		100
Feb. 1978	Jarama-Aranjuez	1070		1128		200		<200
Feb. 1979	Jarama-Algete	428		495		100		100
Feb. 1979	Jarama-Mejorada	918		868-1146		25-50		25-50
Feb. 1979	Jarama-Aranjuez	1070		1128		200		<200
Dic. 1989	Henares-Humanes	165		177		2		2
Dic. 1989	Henares-Espinillo	192		177		2		2
Dic. 1989	Jarama-Algete	428		495		100		100
Dic. 1989	Jarama-Mejorada	918		868-1146		25-50		25-50
Dic. 1989	Jarama-Aranjuez	1070		1128		200		<200
Jul. 1996	Manzanares-Madrid		225	235	158,8-250,4	100	100-200	100
Nov. 1997	Manzanares-Madrid		260	276	250,4	200	200	200

**Tabla 7.13** – Comparación de caudales históricos registrados, caudales deducidos de los hidrogramas, caudales ajustados probabilísticamente a partir de datos de aforo y caudales estimados mediante método racional (Q en m3/seg) y estimación del período de retorno de la avenida histórica correspondiente. Cuenca alta del Tajo (continuación)

Fecha inundación	Cuenca	Caudales (m³/seg.)				Períodos de retorno estimados (años)		
		Registrados	Deducidos de hidrograma	Aforados-ajustados probabilísticamente	Estimados método racional	Para caudales aforados	Para caudales método racional	Rango de períodos de retorno de los caudales registrados
1013	Bañuelos-Malagón	90		80	110,3	100	25	100
May. 1915	Azuer-Daimiel	3,9		4		5		5
Feb. 1917	Bañuelos-Malagón	90		80	110,3	100	25	100
May. 1917	Guadiana-cabecera		10	12		10		10
Mar. 1924	Jabalón-Granátula C.	30		44		5		5
Feb. 1926	Guadiana-cabecera		6	5		2		2
Feb. 1926	Jabalón	30,2		44		5		5
Nov. 1926	Jabalón-Aragonés	30		44		5		5
Nov. 1926	Guadiana-cabecera		8	9		5		5
Ene. 1927	Jabalón	30,2		44		5		5
Dic. 1927-Ene 1928	Jabalón	30		44		5		5
Nov. 1928	Záncara-Provencio	18,5		20	31,4	10	10	10
Feb. 1936	Záncara-Carrascosa del Haro	17		20	31,4	10	10	10
Ene. 1941	Azuer	21,4		18	27,9	25	25	25
Ene. 1952	Becea/Bañuelos-Malagón		7	10	16,7	5	5	<10
Nov. 1972	Záncara-Provencio		24	27	31,4	25	10	25
Ene. 1979	Bañuelos-Malagón		38	42	54,3	25	10	10-25

**Tabla 7.14** - Comparación de caudales históricos registrados, caudales deducidos de los hidrogramas, caudales ajustados probabilísticamente a partir de datos de aforo y caudales estimados mediante método racional (Q en m3/seg) y estimación del período de retorno de la avenida histórica correspondiente. Cuenca alta del Guadiana

---

Este análisis comparativo de caudales es una buena forma de aproximar el cálculo de un período de retorno y por tanto de una magnitud y probabilidad de ocurrencia de la inundación correspondiente.

Observando los resultados obtenidos en este análisis comparativo entre los caudales históricos y los obtenidos por los distintos métodos hidrológicos, se puede comprobar que en muchos casos coinciden los caudales obtenidos por los distintos métodos, sobre todo en las cuencas de tamaño medio y pequeño, por lo que se puede aproximar un período de retorno a la inundación histórica, pero no en todos los casos es así. En cambio, se puede observar una gran diferencia de caudales y períodos de retorno correspondientes en las cuencas del Jarama y Henares.

En algunos casos los caudales históricos son mayores que los que representa el hidrograma equivalente, esto puede ocurrir porque el registro de aforo del caudal punta de avenida no se pueda realizar por fallos en la instrumentación, por la existencia de errores en el registro de aforo o en el registro histórico, o simplemente porque el caudal registrado es el máximo instantáneo o está estimado por otros métodos, por ejemplo a partir de alturas alcanzadas por la lámina de agua o marcas dejadas por el agua, por lo que no siempre coinciden exactamente estos caudales con el dato aforado.

En cuanto a las diferencias observadas entre ambas cuencas, en primer lugar, hay que destacar el mayor número de registros históricos de caudales en las cuencas del Tajo, donde la red de aforos está muy bien desarrollada y es una red muy densa, motivado en parte por ser una cuenca muy regulada y con una alta ocupación, sobre todo en las cuencas del Jarama y del Henares. Por otra parte, los períodos de retorno estimados en las cuencas del Tajo, sobre todo en el Jarama, son mayores que en las cuencas del Guadiana.

En conclusión, de todos los caudales estimados, los que más se aproximan al caudal histórico real son los caudales máximos probables obtenidos mediante ajuste GEV\_momentos ponderados a partir de los datos aforados. Pero el problema es que estos caudales aforados no existen en todas las cuencas, sobre todo en pequeñas cuencas, o no se dispone de series suficientemente completas para su ajuste. En estos casos debemos recurrir a otros métodos de estimación, como el método racional, que como vemos en este análisis comparativo suele dar valores ligeramente sobrestimados con respecto al caudal real. Aún así este método racional es uno de los que tiene mayor aceptación en la estimación de caudales de avenida.

## 7.6. CONCLUSIONES

El tratamiento de datos de aforo y de caudales de avenidas es bastante desconcertante en cuanto a los resultados. Si se realizan los ajustes probabilísticos de los datos de las series de aforo y se comparan con los datos de registros de caudales de inundaciones máximas la concordancia es relativamente mala.

El río Jarama que es uno de los que tiene mejores registros de aforo, presenta una enorme disarmonía entre los caudales máximos esperables probabilísticamente calculados a partir de los datos medidos en estaciones de aforo y los caudales de avenidas históricas. La estación de Algete (*Tabla 7.15*), en los cincuenta años que estamos considerando, registra en este tiempo teóricamente cuatro inundaciones correspondientes a períodos de retorno entre 50 y 100 años, Mejorada (*Tabla 7.16*) solo registra una inundación entre períodos de 50 y 100 años, pero seis de entre 25 y 50 años.

Fecha inundación	Q histórico	Q hidrograma	Q ajustado estadísticamente	T ajustado estadísticamente	T histórico estimado
Dic. 1958	124,6		123	5 años	5 años
Sep. 1960		230	182-281	10-25 años	10-25 años
Ene. 1977	287		281	25 años	25 años
Ene. 1956		400	376-495	50-100 años	50-100 años
Feb. 1979	428				
Dic. 1989	428				
Feb. 1978	498				
			642	200 años	
			895	500 años	

**Tabla 7.15** - Comparación de caudales en el río Jarama (Algete). Q representa el caudal en m<sup>3</sup>/seg y T el período de retorno en años

Fecha inundación	Q histórico	Q ajustado estadísticamente	T ajustado estadísticamente	T histórico estimado
Abr. 1943	314	391	5 años	<5 años
Nov. 1961	494	573	10 años	5-10 años
Feb. 1978	918	868-1146	25-50 años	25-50 años
Feb. 1979	918			25-50 años
Dic. 1989	918			25-50 años
Nov. 1966	961			25-50 años
Ene. 1948	972			25-50 años
Mar. 1947	988,5			25-50 años
Feb. 1978	1040	1146	50 años	50 años
		1485	100 años	
		1898	200 años	
		2589	500 años	

**Tabla 7.16** - Comparación de caudales en el río Jarama (Mejorada del Campo). Q representa el caudal en m<sup>3</sup>/seg y T el período de retorno en años

Finalmente Aranjuez (Tabla 7.17) registra cuatro inundaciones correspondientes a períodos de retorno entre 100 y 200 años y una de 500 años. Por otra parte el Henares, afluente del Jarama, registra en el Espinillo (Tabla 7.18) doce inundaciones en los cuarenta y ocho años considerados, de las cuales siete corresponden a períodos de retorno de entre 2 y 5 años, dos entre 10 y 25 años, una entre 25 y 50 años, una entre 200 y 500 y otra de más de 500 años. Esto podría interpretarse como que las inundaciones tienen un carácter local que no ocurren simultáneamente y que los cambios hidrológicos de una estación a otra son considerables. Sin embargo, esto no es realmente así, el Jarama tiene unas inundaciones bastante homogéneas a lo largo de su vega, y por ejemplo entre la estación de Mejorada y Aranjuez los aportes de afluentes son solo debidos al Tajuña, de escaso caudal.

Fecha inundación	Q histórico	Q ajustado estadísticamente	T ajustado estadísticamente	T histórico estimado
Ene. 1977	590	586	50 años	50 años
Feb. 1978	1004	814-1128	100-200 años	100-200 años
Feb. 1978	1070			100-200 años
Feb. 1979	1070			100-200 años
Dic. 1989	1070			100-200 años
Ene. 1941	2500	1729	500 años	> 500 años

**Tabla 7.17** - Comparación de caudales en el río Jarama (Aranjuez). Q representa el caudal en m<sup>3</sup>/seg y T el período de retorno en años

Fecha inundación	Q histórico	Q hidrograma	Q ajustado estadísticamente	T ajustado estadísticamente	T histórico estimado
Sep. 1949		65	117	2 años	<2 años
Sep. 1963		75			<2 años
Mar. 1947	112				2 años
Ene. 1948	112-199				2 años
Dic. 1989	192				> 2 años
Nov. 1966	223		177-331	2-5 años	2-5 años
Feb. 1978	326		331	5 años	5 años
Nov. 1966	465		438-580	10-25 años	10-25 años
Mar. 1947	540				10-25 años
Ene. 1941	630		580-689	25-50 años	25-50 años
Ene. 1948		998	919-1080	200-500 años	200-500 años
Ene. 1970		1200	1080	500 años	>500 años

**Tabla 7.18** - Comparación de caudales en el río Henares (Espinillo). Q representa el caudal en m<sup>3</sup>/seg y T el período de retorno en años

Por tanto, la disparidad de resultados hay que achacarla fundamentalmente al problema que presentan los datos de aforo, que representa en general caudales máximos diarios, no instantáneos, que son los que realmente definen los picos de las máximas avenidas.

Estos caudales instantáneos en la mayoría de estaciones son muy escasos o incluso inexistentes, lo cual imposibilita su análisis estadístico. Además los datos de las avenidas importantes la mayoría de las veces se pierden por problemas de registro en la estación de aforo.

Otro sistema que hemos ensayado es el cálculo de caudales por el método racional y se ha comparado con los datos de aforo en varios ríos como el Manzanares. En este caso, los ajustes de caudales del método racional no coinciden demasiado con la curva de probabilidades de los caudales aforados. Los caudales pequeños son menores que los obtenidos por aforos, o sea se subestiman, mientras que los caudales altos se sobrestiman. Los resultados son absolutamente desfasados si se comparan con los registros de avenidas históricas (*Tabla 7.19*). Según esto en los 50 años analizados se habría producido una avenida correspondiente a un período de retorno de 500 años, dos de entre 100 y 200 años, una entre 25 y 50 años y una entre 5 y 10 años.

Fecha inundación	Q histórico	Q hidrograma	Q ajustado estadísticamente	T ajustado estadísticamente	T histórico estimado	Q racional	T racional
Dic. 1976	108		96-124	5-10 años	5-10 años	88,5	50 años
Ene. 1970		180	164-198	25-50 años	25-50 años	158,8	100 años
Jul. 1996		225	235	100 años	100 años	158,8-250,4	100-200 años
Nov. 1997		260	276	200 años	200 años	250,4	200 años
Mar. 1947	572		337	500 años	>500 años	472,2	500 años

**Tabla 7.19** - Comparación de caudales en el río Manzanares (Vaciamadrid). Q representa el caudal en m<sup>3</sup>/seg y T el período de retorno en años

En el siguiente capítulo vamos a analizar estadísticamente las relaciones entre los parámetros morfológicos de las cuencas y los caudales máximos esperables según los datos aforados. Acabamos de ver las limitaciones que tienen estos caudales en cuanto a su asimilación a los caudales de inundación máximos, pero aún así, son el único dato real disponible para realizar este análisis. Para estos análisis estadísticos no se pueden considerar tampoco los caudales obtenidos en el método racional, ya que son valores obtenidos a partir de otros parámetros que intervienen en el propio análisis, como el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, y por tanto no son válidos para estudiar las relaciones entre caudal y parámetros físicos de la cuenca, al llevar implícita en su cálculo dicha relación.

## 8. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Los objetivos de la tesis se han centrado en dos grandes aspectos: el análisis de las inundaciones desde un punto de vista histórico y su significado a nivel de cuenca. El análisis histórico ha permitido encuadrar las inundaciones en su marco climático, no solo actual, si no en relación con sus oscilaciones temporales y su posible relación con períodos secos y húmedos.

Por otro lado se han interpretado los otros aspectos que condicionan el hecho de que se generen o no avenidas a nivel del propio río. Esto es, las características geomorfológicas de la cuenca de drenaje que determinan que, frente a unas condiciones climáticas determinadas, las respuestas de las cuencas puedan ser diferentes. Para ello se han realizado estudios de regresión y correlación de los caudales no solo con la precipitación, sino con los parámetros morfológicos de las distintas subcuencas relacionadas.

- A partir ya de un primer análisis de los datos históricos se observa una marcada diferencia estacional entre las inundaciones de la vertiente atlántica, que ocurren básicamente en invierno (53-58%) seguidas de las de otoño (20-23%), y las mediterráneas, que se producen en otoño (40%) seguidas de las de verano (23-31%).
- Este factor climático lleva también asociado un tipo de inundación. Por tanto dentro de las atlánticas domina más el tipo de crecida con desbordamientos (38-51%) más propio de las invernales, frente a las avenidas súbitas, que aún así son importantes llegando a un 35% y que serían más asociables al otoño. La insuficiencia de información sobre las avenidas mediterráneas no permite su cuantificación, pero dadas las condiciones climáticas y morfológicas dominarían las del último tipo.
- Respecto al análisis de las series históricas de precipitación e inundaciones, no parecen poderse definir tendencias claras a partir de su tratamiento y suavizado, como también han sugerido otros autores, aunque si se han detectado ciertas oscilaciones o periodos de anomalías positivas de avenidas y una serie de etapas de humedad-sequía definidas por las precipitaciones.
- El aumento progresivo que se produce en el número de avenidas en la mayoría de las cuencas desde el siglo XIX hay que relacionarlo más bien con el tipo de los registros, teniendo en cuenta que las avenidas catastróficas sí se adaptan a una distribución estadística homogénea, mientras que no lo hacen las extraordinarias. El sensible aumento

---

de las avenidas que observamos nosotros en las cuencas atlánticas a partir del siglo XIX debe achacarse en gran parte a una mejora del registro, que en el Mediterráneo ya era tradicional previamente.

- Con respecto a las oscilaciones temporales y periodos anómalos puede decirse que el total de inundaciones en la mitad sur Peninsular presenta unos marcados aumentos en los tránsitos de los siglos XVII-XVIII, y XIX-XX, con un significativo inciso seco entre ambos. Otra posible etapa húmeda que se observa desde mediados de 1500 a mediados de 1600, queda más diluida entre el conjunto de las cuencas. En el siglo XX, los resultados tampoco son tan claros aunque sí se apunta un pico de avenidas hacia 1940.
- Dentro de estas tres oscilaciones, si realizamos la comparación entre vertientes, observamos que las inundaciones en las cuencas atlánticas Guadiana y Tajo presentan mayor paralelismo entre sí que las del Júcar y Segura, que aunque coinciden básicamente en sus picos, lo hacen con un cierto desfase.
- En la vertiente Atlántica, las tres oscilaciones húmedas dominantes están bastante bien representadas aquí en ambas cuencas, aunque con retardos entre ellas. Los periodos serian 1550-1650, 1750-1810 y 1870-1920, a los que habría que sumar otra más reciente a partir de 1940. Estos picos coinciden con los señalados para los ríos Guadiana y Tajo por otros autores.
- Respecto a la vertiente mediterránea, las etapas de avenidas del Júcar (1580-1640, 1680-1720, 1760-1810, 1850-1870) se asocian con las etapas definidas para la costa mediterránea por otros autores, aunque dichos resultados deberían considerarse mas válidos para la costa mediterránea septentrional.
- La cuenca del Segura, aunque con picos equivalentes pero en la mayoría de los casos más adelantados, parece que sigue una dinámica más independiente y propia.
- Respecto a **la relación entre las series de inundaciones y las de precipitación** ha podido establecerse también unas pautas de estacionalidad de las avenidas.
- En la vertiente atlántica los ríos ofrecen dos poblaciones más diferenciadas, las otoñales y las invernales-primaverales. En el Tajo ambas poblaciones son significativas, más incluso las invernales-primaverales y las del Guadiana se producen sobre todo en los meses invernales.

- 
- Esta distribución es aún más marcada para las cuencas mediterráneas y en especial en la del Júcar, dónde la mayoría de las avenidas ocurren entre Septiembre y Noviembre. En el Segura, aunque también son muy significativas las avenidas otoñales, cobran gran importancia las primaverales.
  - Las cuencas atlánticas presentan buena correlación entre sí y con las estaciones pluviométricas de su vertiente, especialmente con las lluvias invernales. Aún así el Guadiana queda suficientemente representado por las lluvias invernales de Badajoz.
  - La cuenca del Tajo muestra más heterogeneidad en sus influencias. Se presentan como estaciones más representativas las de Madrid o Toledo, junto con las de Ciudad Real Invierno y Albacete inversa, pero también aparece como representativa Ciudad Real del Otoño antecedente (aunque hay que tener en cuenta que las inundaciones estudiadas representan solo las de la cuenca alta-media).
  - Las avenidas del Júcar se correlacionan mejor con las lluvias de Valencia y las del Segura con las lluvias de Murcia, tanto anuales como otoñales, pero también presentan una cierta influencia inversa de Albacete (que marca una cierta interconexión con la vertiente Atlántica y que puede justificar así mismo la mayor complejidad de las avenidas de esta cuenca).
  - Las inundaciones del Segura no ofrecen buena correlación con las del Júcar y esto puede achacarse a que las últimas son básicamente otoñales y en cambio en el Segura hay también una población importante de lluvias primaverales o tardi-invernales.
  - En este análisis se han considerado también las precipitaciones antecedentes del otoño anterior, sin embargo, no han demostrado excesivo peso en los resultados, exceptuando en el caso de la cuenca del Tajo que se ve influenciada por la precipitación del Otoño antecedente de Ciudad Real.
  - Este hecho de que no resulten relevantes las precipitaciones antecedentes, constituye una conclusión importante en sí misma, pues indica que las avenidas están ocasionadas por precipitaciones abruptas puntuales, más que por largos periodos húmedos, y esto se relaciona bien a su vez con lo que se deduce más adelante sobre la influencia de periodos secos y húmedos en la génesis de avenidas.
  - En cuanto a las **implicaciones climáticas** de estas relaciones entre precipitación e inundaciones, se confirma una relación clara entre las inundaciones mediterráneas y las



---

lluvias de otoño generadas por episodios atmosféricos concretos, como son las depresiones frías en altura asociadas a la entrada de aire cálido procedente de África. En cambio, en la vertiente atlántica las inundaciones están asociadas a lluvias de invierno provocadas fundamentalmente por la entrada de flujos zonales por el W peninsular y el establecimiento de sistemas frontales.

- La interpretación de la falta de concordancia entre las inundaciones del Júcar y del Segura, podría achacarse a la posición relativa de las bajas presiones otoñales sobre el Mediterráneo. La posición más septentrional favorecería que el grueso de avenidas se produzca en Levante Central, mientras que una posición más meridional afectaría más al SE.
- Pero hay otras situaciones atmosféricas que también producen avenidas en el SE, unas son las borrascas del Golfo de Cádiz, que controlan el litoral mediterráneo andaluz y el SE, además de afectar a Extremadura (con lo que podría entenderse la cierta influencia señalada de la estación de Ciudad Real).
- La otra situación que sería más característica de las avenidas primaverales serían las vaguadas polares centradas sobre la Península, y que pueden llegar a afectar al sureste, aunque estas también podrían afectar simultáneamente al Levante y al SE
- Con respecto a la **relación entre las inundaciones y los ciclos secos-húmedos**, se observa que estos períodos secos y húmedos de ambas vertientes concuerdan bastante, aunque cabe destacar que estos extremos secos-húmedos son mucho más exagerados en la vertiente mediterránea. Dentro de estas pautas se presentan desfases, siendo las fases del Mediterráneo más tardías que las del Atlántico, lo que confirma lo que veíamos en el apartado de inundaciones. Esto implica que podemos hablar de ciclos húmedos generalizados, aunque realmente no coinciden dentro de ellos los picos de máxima precipitación, sino que se va produciendo un relevo en el tiempo entre las diferentes zonas.
- Por otro lado, si se comparan estos ciclos secos-húmedos con la génesis de avenidas, las avenidas no se producen coincidiendo con los momentos álgidos de humedad, sino al contrario, están más en relación con los vértices secos, y más bien con el final de la etapa seca y el comienzo de la húmeda.
- La cuenca del Segura no muestra estas relaciones tan claramente, confirmándose una vez más como una cuenca anómala con respecto al comportamiento de las otras cuencas estudiadas.

- Cabe destacar además que este tránsito hacia condiciones más húmedas se da de forma más abrupta que el paso hacia una etapa seca. Esto puede indicar unas condiciones climáticas que generan lluvias de alta intensidad al final de la etapa de sequía, lo que podría ser uno de los condicionantes en la generación de inundaciones, sobre los que habría que profundizar.
- Otros factores que también pueden favorecer la génesis de inundaciones al final de una etapa seca serían, por un lado, la falta de funcionalidad en las condiciones de drenaje de la cuenca como pérdida de la capacidad de infiltración de los suelos, procesos de sellado, menor cobertura vegetal y abundante material preparado para el transporte rápido sin protección vegetal, movimientos en masa y sufusión.
- Por otro lado, puede resultar también muy significativa la capacidad de evacuar el caudal de los cauces, que podrían haber perdido parte de su funcionalidad por la falta de avenidas ordinarias que no permite mantener una sección del cauce eficiente y así mismo favorece la revegetación del lecho ante el confinamiento de los niveles freáticos superficiales de la cuenca en las arterias fluviales.

Otro de los objetivos ha sido ver que **parámetros morfológicos** de la cuenca influyen en las avenidas además de la precipitación y con ello la posibilidad de predecir que factores son dominantes y hasta que punto pueden establecerse relaciones entre las características locales de las cuencas.

Como plantea Ayala (2000), aunque el objetivo del análisis de las series temporales sea conocer las pautas de los fenómenos naturales y las causas físicas que los determinan, ello no implica que puedan utilizarse de forma sistemática como instrumento de predicción. De hecho, con condiciones climáticas cambiantes también se modificarán las relaciones, y solo el soporte de un modelo que introduzca los posibles cambios climáticos permitirá su aplicación.

Aún así, cuanto mejor conozcamos los factores que controlan las avenidas podemos estar más preparados para actuar en caso de catástrofe. Si sabemos que a partir de una determinada precipitación en una o varias estaciones concretas, históricamente existe una alta probabilidad de que se produzca inundación en la cuenca, es ya un paso muy importante.

Los estudios de prevención se orientan actualmente en el campo del análisis de umbrales. Aunque la precipitación no sea un único factor influyente, si es uno de los más determinantes y, por tanto, estimar unas precipitaciones umbrales que permitan activar unos niveles de alarma es un dato muy significativo.

---

Se ha realizado el estudio estadístico de correlación (método Pearson) y de regresión (índice Durbin-Watson y ANOVA) entre los máximos caudales esperables (método GEV-momentos ponderados) a partir de los datos de las estaciones de aforo y los parámetros morfológicos de la cuenca, además de la precipitación, para determinar que factores influyen en las avenidas, predecir los que son dominantes y las analogías entre las diferentes cuencas de la zona estudiada.

- Respecto a las correlaciones cabe señalar que son mejores cuando se consideran solo las cuencas medianas y pequeñas, o sea en las grandes cuencas las relaciones son más complejas y pueden intervenir otros factores. Así mismo, la correlación es mejor dentro de las subcuencas de los propios sistemas fluviales, esto es dentro del Tajo y del Guadiana independientemente, que si consideramos todas en conjunto.
- El parámetro general más significativo en ambos casos es la **impermeabilidad**, aunque su influencia varía para los distintos dominios considerados. Otros parámetros importantes son la **amplitud** (desnivel) y la **pendiente**, que aunque son parámetros análogos, se manifiestan de forma diferente en cada sistema fluvial.
- En la cuenca del Tajo, con una red de drenaje mejor jerarquizada y encajada, las diferencias de elevación de las cuencas expresan mejor la capacidad de generar caudales, mientras que las cuencas llanas de la Mancha, la pendiente del cauce se convierte en un parámetro más descriptivo. Estos parámetros serían en realidad equivalentes a lo que quiere expresar el tiempo de concentración, pero sorprendentemente este parámetro no ofrece tan buenos índices de correlación.
- La importancia relativa de cada uno de estos parámetros es inversa. En el Tajo, para mayores caudales se hace más importante la amplitud, mientras que en el Guadiana aumenta el significado de la impermeabilidad, aspectos que pueden asimilarse no solo a las distintas características fisiográficas de las cuencas, si no también a los diferentes tipos de avenidas que dominan en cada sistema.
- En el análisis de regresión, los parámetros que se obtienen como óptimos son la relación **de relieve de la cuenca, la longitud del cauce principal, la impermeabilidad y la precipitación**, aunque estos dos últimos al aplicar ANOVA solo aparecen como significativos para altos períodos de retorno.
- En estos últimos los resultados son mejores cuando utilizamos todas las cuencas en conjunto, pero decaen al considerar aisladamente las cuencas, especialmente en el Guadiana

---

donde el número de muestra es más pequeño. Para justificar este cambio respecto a los resultados de la correlación hay que señalar que en el análisis de regresión uno de los requisitos es que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande en relación con los parámetros que se analizan.

- Si comparamos estos nuevos resultados con los obtenidos por correlación, observamos que, aunque no coinciden totalmente, sí guardan relaciones esenciales. La relación de relieve de la cuenca junto con el de longitud del cauce, sustituyen a los de amplitud de relieve y pendiente del cauce que eran significativos antes. La impermeabilidad es también significativa como antes, pero fundamentalmente en las subcuencas del Tajo.
- Por el contrario, el **área** no aparece como un parámetro importante, aunque sea el parámetro que más suele utilizarse en las ecuaciones de cuenca. Sí es recomendable, sin embargo, utilizar para el análisis cuencas de extensión lo más homogénea posible.
- Otro aspecto a resaltar es la mala relación que ofrecen **los caudales con la precipitación**, contrariamente a lo que cabría esperar. La precipitación es un parámetro que aunque entra en los modelos de regresión, presenta valores de significancia de ANOVA malos, lo mismo que ocurre con el coeficiente de correlación.
- Esta mala relación precipitación-caudales de avenida, nos ha llevado a realizar un estudio comparativo de los caudales máximos de avenida obtenidos por diversos métodos. Se deduce la dispersión de los valores obtenidos y la dificultad de contar de datos fiables de caudal sobre los que establecer las relaciones. Los caudales de inundación recogidos históricamente difieren sensiblemente de los calculados probalísticamente a partir de los datos obtenidos en las estaciones de aforo, que generalmente no reflejan los picos de las grandes avenidas.
- Puesto que indudablemente el parámetro que más influye en las avenidas es la precipitación, la falta de concordancia entre los datos de precipitación y los caudales posiblemente se deba a la mala calidad de los datos. Es indiscutible la necesidad de una mejora en la calidad de estos datos, que permita establecer modelos de más fiabilidad.
- Se hace necesario por tanto una mejora en el control y seguimiento de los caudales aforados, subsanando no solo las carencias de la red de aforo actual, sino los problemas de falta de operatividad que se están produciendo en ellas por los cambios antrópicos en la red que inducen a encajamientos y aterramientos. Esto se observa especialmente en las cuencas de menor tamaño, que son precisamente las que se ven afectadas más frecuentemente por

episodios de lluvias torrenciales, y donde sería más necesario si cabe ese control de los caudales. Pero ello exige no solo costes económicos, sino además tiempo.

- De ello se deduce la insuficiencia de la aproximación hidrológica en general para la estimación de magnitudes y zonas de inundación esperables, y la importancia de basar más la prevención de avenidas en la consideración de la morfología del cauce y llanura de inundación y en una correcta gestión de cuenca. Hay que tener en cuenta además las incertidumbres climáticas que hacen que la mejor previsión anticatástrofe sea el mantenimiento del correcto funcionamiento de los sistemas naturales.

---

---

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afifi, A. A.; Clark, V. (1998): Computer-Aided Multivariate Analysis. Text in Statistical Science. Ed. Chapman & Hall. 3ª Edición. 455 pp.

Aldana Valverde, A. L.; García Serrano, J. A.; Trullas Jimeno, P. (2002): Componente DSH del entorno de desarrollo y utilización de modelos hidrológicos EDIMACHI. Ingeniería Civil 126. pp 55-67

Ayala, F. J.; Rodríguez, J. M.; Prieto, C.; Durán, J. J.; Llamas, J. L.; Rubio, J. (1986): Mapa previsor de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de Andalucía y Extremadura. IGME. Madrid. 205 pp.

Ayala Carcedo, F. J.; Olcina Cantos, J. (Coords.) (2002): Riesgos Naturales. Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona. 1512 pp.

Bardossy A., and F. Schmidt. (2002): GIS approach to scale issues of perimeter-based shape indices for drainage basins. Hydrologic Sciences 47(6). pp 932-942.

Barriendos, M. (1997a): Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (ad 1675-1715): an analysis of data from rogation ceremonies. The Holocene 7-1, pp. 105-111

Barriendos Vallvé, M. (1995): Oscilaciones climáticas seculares a través de las inundaciones catastróficas en el litoral mediterráneo. Siglos XIV-XIX. En Estudios Geográficos, Ed. C.S.I.C., vol. 56, nº 219, abril-junio 1995, pp 223-237

Barriendos Vallvé, M. (1997b): El clima histórico de Catalunya (siglos XIV-XIX). Fuentes, métodos y primeros resultados. Revista de Geografía, vol. XXX-XXXI, pp. 69-96

Barriendos, M.; Llasat, M. C.; Barrera, A.; Rigo, T. (2003): The study of flood events from documentary sources: methodological guidelines for historical source identification and flood characterization in the Iberian Peninsula. En: Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. Proceedings of the PHEFRA International Workshop. Barcelona, 2002. pp 87-92

---

Barriendos Vallvé, M.; Martín Vide, J. (1998): Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries). En: Climatic Change nº 38, pp. 473-491

Barriendos Vallvé, M.; Pomes Vives, J. (1997): La reconstrucción paleoambiental a través de documentación histórica. Las cuencas de Sobirans y Vallalta (Maresme, Barcelona) en los siglos XVI-XIX. Revista de Geografía, vol. XXX-XXXI, pp. 7-22

Barry, R. G.; Chorley, R. J. (1999): Atmósfera, tiempo y clima. Ed. Omega S.A., Barcelona, 1999, 7ª Edición, 441 pp.

Benito, G. (1996): Paleohidrología: nuevas metodologías en la evaluación de riesgos de avenidas y de recursos hídricos en regiones mediterráneas. Hidrología Mediterránea: Los recursos hídricos en países mediterráneos. Instituto Tecnológico de Iberdrola, Valencia. IBERDROLA ed., pp. 419-438

Benito, G.; Díez-Herrero, A.; Fernández de Villalta, M. (2003): Magnitude and frequency of flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the last millennium. Climatic Change nº 58. pp. 171-192

Benito, G.; Machado, M<sup>a</sup> J.; Pérez González, A. (1996a): Climate change and flood sensitivity in Spain. En: Global Continental Changes: The context of Paleohydrology. Geological Society Special Publication. Branson, J.; Brown, A. G.; Gregory, K. J. eds. nº 115, pp. 85-98

Benito, G.; Pérez González, A.; Machado, M<sup>a</sup> J.; de Alba, S. Coord. (1996b): Palaeohydrology and modelling of environmental change. II International meeting on Global Continental Palaeohydrology. Glocoph'96. Toledo. Spain, 1996. 107 pp.

Benito, G.; Pérez González, A.; Machado, M<sup>a</sup> J. (1994): Climate change and flood sensitivity in the Tajo River, Spain. Global Continental Paleohydrology Conference. Southampton 4

Bernaldo de Qirós, F.; Cercos Pérez, R.; Cuenca Bartolome, J.; Ferrer Arellano, I.; Gasco Catala, J. L.; López García, L.; Martín Jadraque, V.; Martínez de León, R.; Navacerrada de Loma, J.; Samartin Quiroga, A.; Sánchez Blanco, V. (1974): Estadística y simulación aplicadas a la ingeniería civil. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Centro de perfeccionamiento profesional y empresarial. Madrid. 574 pp.

---

BOE (1995): Dirección Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. Disposición general del Ministerio de Justicia e Interior. BOE nº 38. 14 Febrero.

Bosh y Julia (1996): Memoria sobre la inundación del Júcar en 1864. Ministerio de Fomento, Madrid 1996

Box, G. E. P.; Jenkins, G. (1970): Time Series Analysis, Forecasting and Control. San Francisco. Holden Day

Cabezas Calvo Rubio, F.; Tamayo Carmona, J.; Témez Peláez, J. R.; Dueñas Molina, C.; López Garrido, J. (1997): La Protección Civil ante el riesgo de inundaciones. I. Jornada Parlamentaria sobre prevención de riesgos relacionados con el agua. SENADO, 24 y 25 de noviembre de 1997

Calvo, J. P.; Daams, R.; Morales, J.; López Martínez, N.; Agustí, J.; Anadón, P.; Armenteros, I.; Cabrera, L.; Civis, J.; Corrochano, A.; Díaz Molina, M.; Elízaga, E.; Hoyos, M.; Martín Suárez, E.; Martínez, J.; Moissenet, E.; Muñoz, A.; Pérez García, A.; Pérez González, A.; Portero, J. M.; Robles, F.; Santisteban, C.; Torres, T.; Van Der Meulen, A. J.; Vera, J. A.; Mein, P. (1983): Up to date Spanish continental Neogene synthesis and paleoclimatic interpretation. Revista Sociedad Geológica de España. 6, 3-4 pp. 29-40

Camarasa, A. M.; García Abad, J. J. (1996): La inundación de Almoguera (Guadalajara) del 25 de Julio de 1987. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada. 3, pp. 9-27

Camarasa, A. M.; Mateu Bellés, J. F. - coord. (2000): Las inundaciones en España en los últimos veinte años : una perspectiva geográfica. Serie Geográfica, nº 9. pp. 253

Camuffo, D.; Secco, C.; Brimblecombe, P.; Martín Vide, J. (2000): Sea storm in the Adriatic sea and the Mediterranean during the last millenium. En: Climatic Change, nº 46, pp 209-223

Capel, J. (1974): Génesis de las inundaciones de Octubre de 1973 en el Sureste de la Península Ibérica. Cuadernos de Geología. Madrid. 4, pp. 149-166

Capel Molina, J. J. (1981): Los climas de España. Colección Ciencias Geográficas, ed. Oikos-tau, S.A., Barcelona. 432 pp.

Capel Molina, J. J. (1999a): Modelos de circulación que afectan a la España atlántica y precipitaciones asociadas. Revista de Geografía, vol. XXXII-XXXIII, pp. 45-65



---

Capel Molina, J. J. (1999b): El niño y el sistema climático terrestre. Ed. Ariel Geografía. Barcelona. 159 pp.

Capel Molina, J. J. (2000): El clima de la Península Ibérica. Ed. Ariel Geografía, Ariel S.A., Barcelona, 281 pp.

Carmona, P.; Fumanal, M. P. (1985): Estudio sedimentológico de los depósitos de inundación en la ribera del Xúquer (Valencia), en Octubre de 1982. Cuadernos de Investigación Geográfica. Logroño. 11, pp. 65-74

Carlson, R. F.; MacCormick, A. J. A.; Watts, D. G. (1970): Application of lineal models to four annual streamflow series. Journal of Water Resources Research, vol.6, nº 4, pp. 1070-1078

Castillo Sánchez, V. M.; Llop Torne, J. M<sup>a</sup>; Dolz Ripolles, J.; Estrela Monreal, T.; Díez Herrero, A.; López Camacho, B. (1997): La planificación frente a los riesgos hidrológicos. I. Jornada Parlamentaria sobre prevención de riesgos relacionados con el agua. SENADO, 24 y 25 de noviembre de 1997

Cayuela Prieto, A. L. (1995): La introducción y significación de los componentes territoriales en el tratamiento de la problemática ligada a los riesgos de inundación. Aplicación al ámbito de la Comunidad Valenciana. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, Arquitectura Director: Serrano Rodríguez, Antonio

CEDEX (1988): Estudio hidrológico e hidráulico de la crecida de Noviembre de 1987 en la Ribera del Júcar. Informe final. Convenio CEDEX para DGC. Diciembre 1988

CEDEX (1991): Planificación Hidrológica. Ordenación de zonas inundables. MOPTMA, Madrid (inédito) 94 pp.

CEDEX (1994a): Aspectos prácticos de la definición de la máxima crecida ordinaria. MOPTMA, Madrid (inédito)

CEDEX (1994b): Estudio de máximas precipitaciones diarias en la España peninsular. Informe Parcial nº 4. Presentación de resultados. Informe para la Dirección General de Carreteras. Madrid, Abril, 1994.

CEDEX-MOPTMA (1996): Curso sobre métodos para el cálculo hidrológico de crecidas. CEDEX, Univ. Politec. Valencia y Univ. Texas AGM. Madrid. Paginación no continúa

---

CEDEX (1998): "Proyecto de ampliación y modificación de la red foronómica de la cuenca hidrográfica del Guadiana". Informe 04.830.004/8511 realizado por el CEDEX con la colaboración de PYC S.A. para el Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Confederación Hidrográfica del Guadiana. Anejo 3º Estudio Hidrológico. pp. 55-68

CEDEX-Centro de Estudios Hidrográficos (1999): series de caudal aforado en estaciones pertenecientes a las cuencas del Tajo (códigos 03) y del Guadiana (códigos 04)

CEDEX. Ministerio de Fomento (2002): Programa CHAC-Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas. Versión PreALFA03g. Octubre 2002

Cercos Pérez, R. (1974): Métodos de previsión I. En: Estadística y Simulación aplicadas a la Ingeniería Civil. Ed. Colegio Oficial de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid. pp 103-123

Couchoud Sebastia, R.; Sánchez Ferlosio, R. (1965): Hidrología histórica del Segura. Colección Publicaciones del CEH. Hidrología Histórica. Madrid. nº 35, 104 pp.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de inundaciones. (1983): Las inundaciones en España. Informe General. Servicio de Publicaciones del MOPU. Madrid. vol. 1 y 2

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1983): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Júcar (vol. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1983.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1983): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Segura (vol. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU y Synconsult S.L., Madrid, 1983.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1985): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Guadiana (vol. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1985.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1985): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Tajo (vol. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1985.

---

Corominas, J.; Alonso, E. (1990): Geomorphological effects of extreme floods (November, 1982) in southern Pyrenees. *Hidrology of Mountainous Regions*. IAHS Publ. 2, pp. 295-302

Cuadrat Prat, J. M.; Martínez Gil, J.; Sanz Sánchez, A. (2001): Las sequías en el proyecto del Plan Hidrológico Nacional: enseñanzas en el sector central de la cuenca del Ebro. En: *II Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de aguas*, Zaragoza, 2001. Ed. Institución "Fernando el Católico". pp 271-279

Cuena Bartolomé, J. (1974): Simulación matemática del régimen variable en cauces y canales. En: *Estadística y Simulación aplicadas a la Ingeniería Civil*. Ed. Colegio Oficial de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid. pp 303-328

Cueva Lobelle, J. M. (no editado): Modelo Autorregresivo AR (1). IGME. 18 pp

Daveau, S. (coord.); Almeida, G.; Feio, M.; Rebelo, F.; Moreira da Silva, R. F.; de Souza Sobrinho, A. (1978): Os temporais de Fevereiro/Março de 1978. "Finisterra" *Revista Portuguesa de Geografia*, vol. XIII, nº 26. Lisboa 1978. Centro de Estudos Geográficos. pp. 236-260.

Davis, S.N.; De Wiest, J.M. (1969). *Hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc. USA. pp. 463

De Pedraza, L. G. (1983): Situaciones atmosféricas que provocan aguaceros en cuencas del Mediterráneo español. En : *Estudios Geográficos*. CSIC, Instituto Juan Sebastián Elcano. Nº 170-171, pp 61-73

DGPC-Dirección General de Protección Civil/ Ministerio del Interior (1995): *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones*. Publicación aprobada en la Resolución de 31 enero de 1995 (BOE 14 febrero 1995).

DGPC (1997): *Guía metodológica para la elaboración del catálogo nacional de inundaciones históricas*. DGPC. Marzo 1997.

Díez, A. (1997): Aplicación de la planificación para la prevención de riesgo hidrológico en ámbito municipal. *Diario de Sesiones del Senado, VI Legislatura, Comisiones*, 162. pp. 10-14

Díez, A. y Laín, L. (1998). Aportaciones de los estudios del ITGE a la prevención del riesgo de inundaciones en España. En: Gómez, A. y Salvador, F. (Eds.), *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*, Universitat de Barcelona y S.E.G., Barcelona. pp. 603-612,

---

Díez, A.; Lain, L. (1997): Aportaciones de los estudios realizados por el ITGE (MIMAM) a la prevención del riesgo de inundaciones en España. Actas del 1º Seminario Iberoamericano sobre Nuevas Tecnologías y Gestión de Catástrofes. Dirección General de Protección Civil, Madrid

Díez, A.; Sanz, M. A. (1997): Análisis de riesgo de inundaciones en Navalunga (Avila): uso combinado de modelos y sistemas de información geográfica. Actas del 1º Seminario Iberoamericano sobre Nuevas Tecnologías y Gestión de Catástrofes. Dirección General de Protección Civil, Madrid

Díez Herrero, A. (2001): Geomorfología e Hidrología fluvial del río Alberche: modelos y S.I.G. para la gestión de riberas. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geología, Dep. Geodinámica. Director: Pedraza Gilsaz, Javier

Díez Herrero, A. (2002): Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados, pp. 921-952. En: Riesgos Naturales. Ayala-Carcedo, F. J.; Olcina Cantos, J. (coord.) 1ª edición. Ariel Ciencia. Ed. Ariel. Barcelona, 1512 pp.

Díez Herrero, A. y Pujadas Ferrer, J. (2002): Mapas de riesgos de inundaciones. En: F.J. Ayala-Carcedo y J. Olcina Cantos (Coords.), Riesgos Naturales. Cap. 53, págs. 997-1012, Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, 1512 págs., Barcelona.

Domínguez Sánchez, C. (1996): Estudio de los procesos de erosión dependientes de causas hidrológico-hidráulicas en márgenes de materiales cohesivos de cauces naturales aluviales con meandros. Modelación híbrida físico-matemática del proceso evolutivo global de la geometría fluvial. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, Ingenieros Agrónomos. Director: Fernández Bono, Juan Francisco

Domínguez Tendero, F. (1991): Memoria Centenario de la inundación del 11 de Septiembre de 1891. Consuegra-Toledo. 356 pp.

Durán Valsero, J. J.; Corominas Dulcet, J.; Suárez Ordóñez, L.; Regueiro González Barros, M. (1997): Riesgos geológicos relacionados con el agua. IV. Jornada Parlamentaria sobre prevención de riesgos relacionados con el agua. SENADO, 24 y 25 de noviembre de 1997

Elízaga, E. (1988): Prevención de inundaciones. Los mapas de riesgos. Riesgos Geológicos. IGME. Madrid. pp. 137-143

---

Elizaga, E.; Garay, P.; Gutierrez, P. (1983): El mapa de riesgos geológicos como documentación preventiva ante la dinámica fluvial de la cuenca baja del río Júcar. 2ª Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. pp. 7-1/7-23

Escalante, C.; Reyes, L. (1998): Identificación y análisis de sequías en la región hidrológica número 10, Sinaloa. *Ingeniería Hidráulica en México*. vol. XIII. n° 2. pp 23-43

Estrela, T; Quintas, L. (1996): El modelo de flujo bidimensional GISPLANA. Revista de Ingeniería Civil. CEDEX. Ministerio de Fomento. 1996 104 pp. 13-21

Estrela, T.; Ferrer Polo, J. (1997): Teoría de la modelización. En: Master en Hidrología General y Aplicada, CEDEX, MOPTMA, Madrid, vol. 2, no pag.

Etxeberria, J. (1999): Regresión Múltiple. Cuadernos de Estadística n° 4. Eds. La Muralla S.A./Hespérides, S.L., 155 pp.

Feldman, A. D. (1981): HEC models water resources system simulations. Theory and experiences. *Advances in Hydrosiences*. 12, pp. 297-423

Fernández, I. (1999): El Niño llega a España. *National Geographic* (Edición española), vol. 4, n° 6. 1 pag.

Fernández García, F. (1996): Manual de Climatología aplicada. Clima, Medio Ambiente y Planificación. Serie Mayor Espacios y Sociedades. Ed. Síntesis, Madrid. 285 pp.

Ferrer, F. J. (1992): Análisis estadístico de caudales de avenida. Monografías M 26. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, MOPTMA), Madrid 42 pp.

Ferrer, F. J. (1993): Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Monografías M 37. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, MOPTMA). Madrid. 76 pp.

Ferrer Polo, F. J. (2000): Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. CEDEX. 77 pp.

Flamenco, E. A.: Modelo de pronóstico de inundaciones en el Río Paraná en Corrientes, basado en el Fenómeno ENSO (El Niño / Oscilación del Sur) –Publicación electrónica

---

Flores, I.; Campos Aranda, D. F. (1998): Detección de periodos de sequía en la zona media del estado de San Luis Potosí, con base en registros de precipitación mensual. *Ingeniería Hidráulica en México*. vol. XIII. n° 2. pp 45-56

Font Tullot, I. (1983): Climatología de España y Portugal, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 1983.

Font Tullot, I. (1988): Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas. Ed. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid. 297 pp.

Francés, F. J.; Salas, J.; Boes, D. (1972): Flood frequency analysis with systematic and historical or paleoflood data based on the two parameter GEV models. *Water Resources Research*. vol. 30, n° 6, pp. 1653-1664

Garzón, M. G. (1985): Las avenidas como fenómeno geológico. Geología y Prevención de daños por inundaciones. IGME. Madrid. pp. 5-53

Garzón, M. G. (1988): Geología y dinámica fluvial. Riesgos geológicos. IGME. Madrid. pp. 123-129

Garzón, M. G.; Alonso, A.; López, J.; Arche, A. (1990): Desbordamientos del río Jarama (provincia de Madrid) e interferencia humana en la llanura de inundación. Comunicaciones IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Gijón. pp. 259-270

Garzón, M. G.; Martínez Goytre, J.; Alonso, A. (1992): Los cambios antrópicos en la dinámica del río Jarama (Madrid) como modificadores del riesgo de inundaciones. III. Congreso Geológico de España y VIII. Congreso Latinoamericano de Geología. Simposios. Salamanca. 2 pp. 628-638

Gil Olcina, A.; Olcina Cantos, J. (1997): Climatología General. Ed. Ariel Geografía, Ariel S.A., Barcelona, 579 pp.

Glaser, R.; Stangl, H. (2003): Floods in Central Europe since 1300. En *Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment*. Proceedings of the PHEFRA International Workshop. Barcelona, 2002. pp. 93-98.

Golden Software (1989): LEYES vs. 4,05 (Aplicación informática para ajustes probabilísticos).

---

González López, S; Lorente García, J. (2002): Reducción de la vulnerabilidad ante los fenómenos meteorológicos extraordinarios. Conferencia Día Meteorológico Mundial, Murcia, 2002

Grass, G. (1956): Las ventajas de las gallinas de viento. Traducción de Miguel Sáenz, 1994. En "Günter Grass: Poemas", Colección Visor de Poesía. Ed. Aguilar, Altea, Taurus, Alfaguara S.A. Visor Libros, Madrid 1994.

Gravelius, H. (1914): Grundriss der gesamten Gewässerkinde, Band I: Flusskunde (Compendium of Hydrology Vol I. Rivers, in German). Goschen, Berlin, Germany.

Heras, R. (1983): Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos (ICCYP). Madrid, 361 pp.

Hernández García, M. E.; Llamas Madurga, M. R. (1995): Contribución al conocimiento de las sequías de Madrid. *Ingeniería del Agua*, vol.2, nº 2. pp 17-32

Hirschboeck, K. K. (1988): Flood hydroclimatology. Flood Geomorphology. John Wiley. Baker, V.; Kochel, R.; Patton, P. C. eds., New York pp. 27-49

Horton, R. E. (1932): Drainage basin characteristics. Am. Geophys. Union Trans. pp. 350-361

Horton, R. E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull., 56. pp. 275-370

ICONA (2003): Mapa Forestal de España. MFE200. Escala 1:200.000

IGME (1980a): *Evolución Piezométrica de los Sistemas Acuíferos nº 14,15 y 17 de la Cuenca del Tajo*. Programa Nacional de Gestión y Conservación de los Acuíferos. Análisis del período 1977-82. 66 pp.

IGME (1980b): Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Investigación Hidrogeológica de la Cuenca del Tajo y del Guadiana. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, 2 vol.

IGME (1981): Estudio de las posibilidades hidrogeológicas de la comarca de Malagón (Los Cortijos, Fuente del Fresno y Malagón). Mapa Geológico, Mapa Hidrogeológico. ITGE Madrid 1981 29 p. (3 pl) ESCALA 1:50.000

---

IGME (1984): Establecimiento de criterios geológicos para la prevención de daños por avenidas. Aplicación a las inundaciones del valle del Nervión (País Vasco) en Agosto de 1983. IGME. Madrid. 83 pp.

IGME (1985): Geología y prevención de daños por inundaciones Instituto Tecnológico y Geominero de España. Madrid

IGME (1986): Estudio Geológico para la prevención de riesgo por inundaciones en el País Vasco y Condado de Treviño. Serie Geología Ambiental. IGME, Madrid. 71 pp.

IGME (1987a): Mapas previsores de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de Murcia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 8 mapas. 51 pp.

IGME (1987b): Mapas previsores de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de la Comunidad Valenciana. Instituto Geológico y Minero de España. 20 mapas 177 pp.

IGME (1987c): Riesgos ligados a la Geodinámica externa. En: Riesgos Geológicos, Madrid, 1987. pp 123-152

IGME (1995): Reducción de riesgos geológicos en España

IGME (1999): Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los Riesgos Geológicos

IGME (2002): Edición Digital del Mapa Geológico de España.

IGME (1981-2000): Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000. Varias hojas.

IGN-Instituto Geográfico Nacional (1988): Mapa Topográfico Provincial. Escala 1:200.000. Varias hojas.

IGN-Instituto Geográfico Nacional (1997): Modelo Digital del Terreno 1:200.000. MDT200.

IGN-Instituto Geográfico Nacional (1998): Base Cartográfica Numérica BCN200. Cartografía Digital del IGN. Escala 1:200.000. Varias hojas.

I.N.M - Instituto Nacional de Meteorología: series de precipitación máxima (datos informáticos)



---

ITGE (1971-72): Mapa Geológico de España (Síntesis de la cartografía existente). Escala 1:200.000. Varias hojas.

ITGE -Ayala Carcedo, F. J.; Ferrer Gijón, M.; González de Vallejo, L. I.; Beltrán de Heredia Artadi, F.- (1988a): Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos. 263 pp.

ITGE (1988b): Riesgos Geológicos

ITGE-Durán, J. J.; Martínez Goytre, J.; Peña, J. L. (1989): Mapas previsores de riesgo de inundaciones en los núcleos urbanos de Güimar y Playa de las Américas (Tenerife). ITGE. Madrid. 42 pp.

ITGE-del Val, J.; del Valle de Lersundi, J. M.; Molina, F. A.; Ayala Carcedo, F. J.- (1990): Avenidas y erosión en España. En: Erosión y desertificación en España. ITGE, Madrid. pp. 13

ITGE (1990): Atlas de Riesgos Integrados de la provincia de Alicante. Memoria y 12 mapas a escala 1:200.000. Inédito

Jiménez Ballesta, R.; Gallardo, J.; Ibáñez Marti, J. J. (1986): Revisión de los procesos paleoclimáticos Plio Cuaternarios en el sector oriental del Sistema Central: Somosierra Ayllón (España). Symposium on climatic fluctuations during the Quaternary in the Western Mediterranean Regions, Madrid, 1986. López Vera, F. ed. pp. 95-109

Jiménez Sánchez, M. (1994): Geomorfología de la cuenca alta del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Asturias). Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología.

Johnson (1967): Division Testings water wells for drawdown and yield.

Kelman, J. (1977): Stochastic modelling of hydrologic intermittent daily process. Hydrology Paper 89. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Knox, J. C. (1993): Large increases in flood magnitude in response to modest change in climate. Nature. 361, pp. 430-432

Kochel, R. C.; Baker, V. R. (1982): Paleoflood hydrology. Science. 215, pp. 353-361

Lettenmaier, D. P.; Burges, S. J. (1977): Operational assesment of hydrologic models of long term persistence. En Journal of Water Resources Research, vol.13, nº 1, pp. 113-124

---

Lamb, H. H. (1977): Climate: present, past and future. En: Climatic history and the future Ed. Methuen & Co. Ltd, Londres 1977. vol. 2

Libro Blanco del Agua en España (1998): Documento de Síntesis. Madrid, 4 de Diciembre de 1998. 40 pp.

Lines Escardo, A. (1979): The climate of the Iberian Península. World Survey of Climatology. Landsberg, h. e. ed. (Elsevier), New York 5

López Bermúdez, F.; Romero, M. A. (1993): Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. Cuadernos de Investigación Geográfica. 18-19, pp. 7-28

López Vera, F. (ED.) (1986): Quaternary Climate in the Western Mediterranean. Symposium on Climate Fluctuations during the Quaternary in the western Mediterranean Regions. Universidad Autónoma de Madrid, pp. 31-44

López Vera, F.; Pedraza, J. (1976): Síntesis geomorfológica de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. Estudios Geológicos. 32, pp. 499-508

López Gómez, A. (1983): Las lluvias catastróficas en España. Estudios Geográficos. Madrid 44, 170-171. pp. 1-29

Llasat, M.C.;Puigcerver, M. (1989): Gotas de aire frío en la Península Ibérica: características. En Revista de Geofísica, vol. 45, n° 2, pp. 177-188

Llasat, M. (1991): Gota Fría. Boixareu Universitaria, Barcelona

Llasat, M. C.;Puigcerver, M. (1994): Meteorological Factors Associated with Floods in the North-Eastern Part of the Iberian Peinsula. Natural Hazards, 9, pp. 81-93

Llasat, M. C.; Ramis, C.; Barrantes, J. (1996): The Meteorology of High-Intensity Rainfall Events Over the West Mediterranean Region. Remote Sensing Reviews, vol. 14, pp. 51-90

Llasat, M. C. (1998): Una clasificación de los episodios pluviométricos para su utilización en hidrología. Aplicación a la serie de intensidad de lluvia en Barcelona. Ingeniería Civil, CEDEX, n° 112, pp.35-44

---

Llasat, M. C.; Barriendos, M.; Barrera, A.; Rigo, T. (2003): Climatological analysis of flood frequency in the Ter, Segre and Llobregat basins from the 14<sup>th</sup> to 20<sup>th</sup> century. En: *Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment*. Proceedings of the PHEFRA International Workshop. Barcelona, 2002. pp 275-280

Llasat, M. C.; Barrera, A.; Barriendos, M. (2004): Analysis of climatic conditions associated with historical floods. En: *Systematic, Paleoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines*. Ed. G. Benito & V. R. Thorndycraft. pp 85-94

Macklin, M. G.; Passmore, D. G. (1995): Pleistocene environmental change in the Guadalope basin, Northeast Spain: fluvial and archaeological records. *Mediterranean Quaternary River Environments*. Balkema. Lewin, J.; Macklin, M. G.; Woodward, J. C. eds. pp. 103-113

Macklin, M. G.; Passmore, D. G.; Stevenson, A.C.; Davis, B. A.; Benavente, J. A. (1994): Responses of rivers and lakes to Holocene environmental change in the Alcañiz region, Teruel, Northeast Spain. *Environmental change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological perspectives*. Millington, A. C.; Pye, K. eds. John Wiley & sons. Chichester. pp. 113-130

MAPA-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1977-79): Mapa de Cultivos y Usos de Suelo, Escala 1:50.000. Varias hojas.

MAPA-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1979-1985): Mapas de Cultivos y Aprovechamiento. Escala 1:200.000. Varias hojas.

Marcos Valiente, O. (1997): La cara oculta de el Niño: Anomalías climáticas y ecológicas en el Pacífico Occidental. *Revista de Geografía*, vol XXX-XXXI, pp. 97-119

Martín Vide, J. (Ed.) (1997): *Avances en Climatología histórica en España/Advances in Historical Climatology in Spain*. Barcelona, Oikos-tau, 223 pp.

Martínez Arias, R. (1999): El Análisis Multivariante en la investigación científica. *Cuadernos de Estadística* n° 1. Eds. La Muralla S.A./Hespérides, S.L., 143 pp.

Martínez Goytre, J.; Garzón, M. G. (1996): Análisis de las avenidas históricas en el río Júcar. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada. 3 pp. 29-41

---

Martínez Goytre, J.; Garzón, M. G.; Arche, A. (1987a): Avenidas e inundaciones. Unidades temáticas y ambientales de la Dirección General de Medio Ambiente. MOPU. Madrid. 67 pp.

Martínez Goytre, J.; Garzón, M. G.; Arche, A. (1987b): Dinámica y sedimentología de los depósitos de la avenida del río Júcar en Octubre de 1982 en su tramo bajo. Acta Geológica Hispánica. Barcelona. 21-22, pp. 113-122

Martínez Goytre, J.; Garzón, M. G.; Arche, A. (1987c): Mapa de riesgos por avenidas en el cauce bajo del río Júcar. Contribución a la planificación territorial. Comunicaciones III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Valencia. 2, pp. 905-924

Masachs, V. (1950): Aportación al conocimiento del régimen fluvial mediterráneo. Comptes Rendus du Congrès International de Géographie. UGI, Lisbonne 1949, 2, pp. 358-390

Matalas, N. C. (1967): Mathematical assessment of synthetic hydrology. Journal of Water Resources Research, vol.3, nº4, pp. 937-945

Matalas, N. C.; Wallis, J. R. (1971): Statistical properties of multivariate noise processes. En: Journal of Water Resources Research, vol.7, nº6, pp. 1460-1468

Matías, P.; Alves, M. H.; Bernardo, J. (2001a): Características hidrológicas com interesse para a caracterização do regime e tipos de escoamento em Portugal continental. En: Plano Nacional da Água. Caudales Ecológicos. Cadernos Temáticos do PNA. Ed. MAOT, Instituto da água, 2001. 72 pp.

Matías, P.; Alves, M. H.; Bernardo, J. (2001b): Cálculo dos parâmetros para a definição dos regimes, em locais onde não existam séries de caudais médios diários. En: Plano Nacional da Água. Caudales Ecológicos. Cadernos Temáticos do PNA. Ed. MAOT, Instituto da água, 2001. 72 pp.

Meinzer, O. E. (1923): Outline of Ground Water Hydrology with Definitions. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 494, pp. 71

Miller, V. C. (1953): A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area: Va. And Tenn. Office Naval Research Project NR 389-042, Tech. Rept., 3. Columbia University

---

Milly, P. C. D.; Wetherald, R. T.; Duane, K. A.; Delworth, T. L. (2002): Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*. Ed. Nature Publishing Group, 2002. vol. 415(6871). pp 514-517

Ministerio de Obras Publicas y Transportes (1993): Memoria. Plan Hidrológico Nacional.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Obras Hidráulicas; Synconsult S.L. (1983): Inundaciones históricas y Mapa de Riesgos Potenciales. Cuenca del Segura. Servicio de Publicaciones del MOPU. Madrid. vol. 2

Miró Granada, J. (1976): Avenidas catastróficas en el Mediterráneo Occidental. *Hidrología*. Madrid. 24-25, pp. 117-133

Miró Granada, J. (1983): Consideraciones generales sobre la meteorología del Levante Español. *Estudios Geográficos*. Madrid 44, 170-171. pp. 31-53

Molina Chamorro, A.; Ayuso, J. L.; Giraldez, J. V. Desarrollo de hidrogramas de diseño a partir de un patrón de distribución de lluvia de tipo Huff. *Actas del III Simposium sobre "Agua en Andalucía"*. pp. 201-210

Molina Sempere, C.; Vidal-Abarca, M. R.; Suárez, M. L. (1994): Floods in arid south-east Spanish areas: a historical and environmental review. En *Coping with Floods*. Eds. G. Rossi, N. Harmancioglu, V. Yevjevich. Kluwer Academic Publishers. pp. 271-278

MOPU (1993): Memoria. Plan Hidrológico Nacional, Madrid, 1993.

Morales Rodríguez, C.; Ortega Villazán, M. T. (2000): Riesgos climáticos en Castilla y León: Análisis de su Peligrosidad. *Boletín de la A.G.E.* n° 30, pp. 155-179

Morisawa, M. (1958): Measurement of drainage-basin outline form. *J. Geol.* 66 (4). pp 587-591

Murray, R. S.; Larry, J. S. (2002): Estadística. 3ª Edición. Ed. McGraw Hill. 541 pp.

Muskat, M. (1937): *The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media*. McGraw-Hill. New York.

Navarro Rodríguez, J. A. Característica hidrológica y simulación de hidrogramas de avenida de una pequeña cuenca de montaña del sureste español.

---

O'Connell, P. E. (1971): A simple stochastic modeling of Hurst's law. En *Mathematical Models in Hydrology, Warsaw Symposium (IAHS Publ. 100. 1974)*, 1, pp. 270-280.

Olcina Cantos, J. (1994): *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Ed. Libros Penthalon. Acción Divulgativa. Madrid. 440 pp.

Ollero, A. (1996): *El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 311 pp.

Ortega, J. A.; Garzón, G. (1997): Inundaciones históricas en el río Guadiana. Sus implicaciones climáticas. En: *Cuaternario Ibérico*. Ed. Rodríguez, J. AEQUA, Huelva. 365-367 pp.

Ortega, J. A.; Garzón, G. (2002): Inundaciones en el río Guadiana y su relación con el tipo de evento tormentoso. En *aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. Madrid, 2002 97-102 .

Ortega, J.A.; Garzón, G.; Potenciano, A.;Martínez, J. (1999): Comparative analysis and climatic significance of historical floods in the Atlantic and the Mediterranean rivers of Central South Spain. Poster+abstract, Congreso Internacional de Geología, La Haya, 1999

Ortega, J.A.; Garzón, G.; Potenciano, A.;Martínez, J. (2000): The flash flood of the Rivillas stream (Badajoz) and its Paleohydrological and climatic significance within the Guadianas basin floods. Poster+abstract, Abstracts Congreso Internacional de Paleohidrología, Arizona, 1999

Palma, A.; Quintas, L. (1996): Modelo hidráulico CAUCES. Cálculo de la lámina de agua en régimen estacionario para cauces naturales o artificiales de lecho fijo. *Revista de Ingeniería Civil*. CEDEX. Ministerio de Fomento 104, pp.39-42

Pavese, M. P.; Banzon, V.; Colacino, M.; Gregori, G. P.; Pasqua, M. (1992): Three historical data series on floods and anomalous climatic events in Italy. *Climate since A. D. 1500*. Bradley, R. S.; Jones, P. D. eds., Routledge. pp. 155-170

Peña, D. (1989): *Estadística: Modelos y Métodos*, vol. 2. Alianza Universidad

Potenciano, A. (1995): *Estudio de las inundaciones históricas del río Amarguillo (Toledo)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid. Inédita. 142 pp.

---

Potenciano, A.; Martínez, J.; Duran, J.J.; Garzón, G. (1996): Inundaciones en el río Amarguillo (Toledo). *Geogaceta*, 20, vol.5., pp. 1135-1137

Potenciano de las Heras, A. (1998): Inundaciones históricas en Consuegra (Toledo). *Tierra y Tecnología* (Riesgos Naturales), nº 18, pp. 68-73

Potenciano, A.; Garzón, G.; Ortega, J.A.; Martínez, J. (1999): Historical floods on the Atlantic and the Mediterranean watersheds on Central South Spain. Poster+abstract. Abstracts MAEGS, 11th Meeting "Association of European Geological Societies", Sociedad Geológica de España, Alicante, 1999

Potenciano, A.; Garzón, G. (2000): Significado paleoclimático de las inundaciones históricas en las cuencas fluviales atlánticas y mediterráneas del centro sur de España. Abstracts de la VI Reunión Nacional de Geomorfología/Sociedad Geológica de España/Madrid/17 20 Septiembre 2000

Potenciano, A.; Garzón, G. (2001): Historical floods analysis between the Atlantic and Mediterranean watershed in Central South Spain. Abstracts "Groundwater and Landscape Sustainable Management" Workshop (Complutense Charles Universities). Madrid. pp. 112-115

Potenciano, A.; Garzón Heydt, G. (2002): Significado paleoclimático de las inundaciones históricas en las cuencas fluviales atlánticas y mediterráneas del centro sur de España. En: Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio. Ed. Pérez González, A.; Vegas, J.; Machado, M. J., Madrid, pp. 115-120

Potenciano, A.; Garzón, G.; García, R. (2003): Statistical approach to historical floods and precipitation data in Central South Spain. En *Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment*. Proceedings of the PHEFRA International Workshop. Barcelona, 2002. pp. 243-248

Pujadas Ferrer, J. (1997): Cartografía de riesgos por inundación. Herramienta para la prevención de avenidas. *Tecnoambiente*. Febrero, 1997. 69, pp. 54-58

REAL DECRETO 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril que aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, desarrollado en los Títulos preliminares, I, IV, V, VI y VIII de la Ley de Aguas 29/1985, de 2 de agosto.

Rice, R. J. (1983): Fundamentos de Geomorfología. Ed. Paraninfo. 392 pp.

---

Rodríguez, R.; Llasat, M. C.; Rojas, E. (1994): Evaluation of Climatic Change through Harmonic Analysis. En: Natural Hazards nº 9, pp. 5-16

Rodríguez Morilla, C. (2000): Análisis de series temporales. Cuadernos de estadística. Nº 11. Eds. La Muralla, S.A./Hespérides, S.L. 166 pp.

Rubio, J. L.; López Cuesta, M.; Sánchez, J. (1983): La riada del Júcar, del 20 de Octubre de 1982. Procesos erosivos y características de los sedimentos. Revista de Agroquímica y Tecnología Alimentaria. 23 (2) pp. 154-163

Rubio Recio, J. M. (1998): Clima y vegetación. Mapa del Cuaternario de España. Escala 1:1000000. Ed. ITGE, Madrid, pp. 21-29

Ruiz Pérez, J. M. (2001): Hidrogeomorfología del llano de inundación del Júcar. Tesis Doctoral Universidad de Valencia, Geografía e Historia. Director: Mateu Belles, J. F.

Salas, J. D.;Delleur, J. W.;Yevjevich, V.;Lane, W. L. (1980): Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, U.S.A. 484 pp.

Sánchez Martín, J. M. (1995): La matriz de correlación lineal en climatología. Los riesgos interpretativos: su reducción o eliminación. En: Estudios Geográficos, vol. 56, nº 219, abril-junio 1995, pp 411-433

Schoeller (1962): Les Eaux Souterraines. Ed. Masson & Cie. París. pp. 313-324

Schumm, S. A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bull. Geol. Soc. Amer. 67, pp. 597-646

Schumm, S.A.(1977):Applied Fluvial Geomorphology.Applied Geomorphology. Ed. Hailis, J. R., Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York, 1977 pp. 119-156

Selby, M. J. (1985): Earth's changing surface. Ed. Clarendon Press. Oxford. 607 pp.

Servicio Geográfico del Ejército (1988): Mapa Militar de España. Escala 1: 50.000. Varias hojas.

Servicio Meteorológico Nacional. (1943): Las series más largas de observaciones pluviométricas de la Península Ibérica, Ministerio del Aire, Dirección General de Protección de Vuelo, Sección de Climatología, Madrid, 1943.



---

S.G.C. - Statistical Graphics Corporation (1999): STATGRAPHICS Plus for Windows 4.1 (cedido por el Centro de Cálculo de la Universidad Complutense de Madrid)

Singh, V. P. (Ed.) (1982): Statistical analysis of rainfall and runoff. En: Water Resources Publications. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling held May 18-21, 1981 at Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, U.S.A., 700 pp.

Sole, L. (1952): Geografía de España y Portugal. Geografía Física. Montaner y Simón eds. 1497 pp.

SQG-Sistemas Quinta Generación (1995): Statgraphics plus. Series Temporales. Ed. Manugistics, 142 pp.

Strahler, A. N. (1952): Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography. Bull. Geol. Soc. Amer. 63, pp. 1117-1142

Strahler, A. N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: Handbook of Hidrology, Part II, Ed. Chow, V. T., McGraw-Hill, pp. 4.39-4.76

Strahler, A. H.; Strahler, A. N (1992): Modern Physical Geography. Ed. John Wiley & sons. New York. 638 pp.

Swan, A. R. H.; Sandilands (1995): Introducing to Geological data analysis. Ed. B. Blackwell Science. 431 pp.

Témez Peláez, J. R. (1978): Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Serv. Pub. MOPU. Dirección General de Carreteras. Madrid, 1978

Témez, J. R. (1991): Extended and Improved Rational Method. Version of the Hyghaways Administration of Spain. Proc. XXIV Congress. Madrid (España) 1991, vol. A., pp 33-40.

Thomas, H. A.; Fiering, M. B. (1962): Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analisis of river basins by simulation. En: Design of water Resource Systems (A. Mass et al., eds.) Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press. pp. 459-493

Thorndycraft, V. R.; Benito, G.; Barriendos, M.; Llasat, M. C. – Eds.(2003): Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. Proceedings of the PHEFRA International Workshop. Barcelona, 2002. 378 pp.

---

Toharia Cortés, M. (1984): *Tiempo y Clima. Predecir el tiempo: tarea difícil, tarea importante*. Ed. Salvat S.A., Madrid. 64 pp.

US Army Corps of Engineers (1982): *HEC 2 Surface Profiles. Users Manual*. Hydrologic Engineering Center, USA. 1982.

Ventura, J. E. (1987): *As gotas de ar frio e o regime da precipitacao em Portugal*. Finisterra. Lisboa. 22-43, pp. 39-69

William W. S. Wei (1989): *Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 207-275

WMO-World Meteorological Organization (1973a): *Manual for stimation of probable maximum precipitation*. Operational Hydrology Report n° 1. 189 pp.

WMO-World Meteorological Organization (1973b): *Manual Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation*. Contribution of WMO to the International Hydrological Decade, WMO n° 237. 114 pp.

WMO-World Meteorological Organization (1989): *Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis*. World Meteorological Organization. Operational Hydrology Report, n° 33.

Woodman, R. P. (1999): *Modelo Estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la Costa Norte del Perú*. En: *El fenómeno El Niño, investigación para una prognosis*. 1° Encuentro de Universidades del Pacífico Sur. Memoria 93-108, Piura-Perú, 1999.

Yakowitz, S. J. (1973): *A stochastic model for daily riverflow in a arid region*. En: *Journal of Water Resources Research*, vol.9, n°5, pp. 1271-1285

Yevjevich, V. M. (1963): *Fluctuations of wet and dry years. Part 1. Research data assembly and mathematical models*. Hydrology Paper 1, Colorado State University. Fort Collins, Colorado

Zucarelli, G. V.;Morresi, M. V. (2000): *Geomorfología cuantitativa de la cuenca del arroyo Feliciano (provincia de Entre Ríos)*. *Cuadernos del Curiham*, vol.6, n° 1, pp 36-46.

---

## 9.1. FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE INUNDACIONES HISTÓRICAS CONSULTADAS

Camarasa, A. M.; García Abad, J. J. (1996): La inundación de Almoguera (Guadalajara) del 25 de Julio de 1987. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada. 3, pp. 9-27.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1983): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Júcar (v. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1983.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1983): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Segura (v. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU y Synconsult S.L., Madrid, 1983.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1985): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Guadiana (v. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1985.

Comisión Nacional de Protección Civil. Comisión Técnica de Inundaciones (1985): Estudio de inundaciones históricas y Mapa de riesgos potenciales-Cuenca del Tajo (v. 2), Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1985.

Domínguez Tendero, F. (1991): Memoria Centenario de la inundación del 11 de Septiembre de 1891. Consuegra-Toledo. 356 pp.

Font Tullot, I. (1983): Climatología de España y Portugal, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 1983.

ITGE (1988a): Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos. 263 pp.

Font Tullot, I. (1988): Historia del clima en España. Cambios climáticos y sus causas, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 297 p.

Martínez, J. & Garzón, G. (1996): Análisis de las avenidas históricas en el río Júcar, *VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (v. 3)*, Granada, pp. 29-41.

MOPU (1993): Memoria. Plan Hidrológico Nacional, Madrid, 1993.

Potenciano, A.; Martínez, J.; Durán, J.J.; Garzón, G. (1996): Inundaciones en el río Amarguillo (Toledo). *Geogaceta*, 20, v.5, pp. 1135-1137. Madrid. Julio 1996.

Potenciano, A. (1998): Inundaciones históricas en Consuegra (Toledo). *Tierra y Tecnología* (Riesgos Naturales), nº 18, pp. 68-73

Cesión de información:

José García – Archivos Ayto. de Consuegra)

José A. Ortega – datos procedentes del Archivo Municipal de Badajoz

Miguel Ángel Jiménez - Datos de inundaciones recientes en el Tajo cedidos por la Dirección General de Protección Civil correspondientes a los trabajos en curso de revisión del Catálogo Nacional de Inundaciones. No editados

Observaciones in situ y recortes de prensa entre 1995-1998





# **LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN EL CENTRO-SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS**

**TESIS DOCTORAL**

**Ángela Potenciano de las Heras**

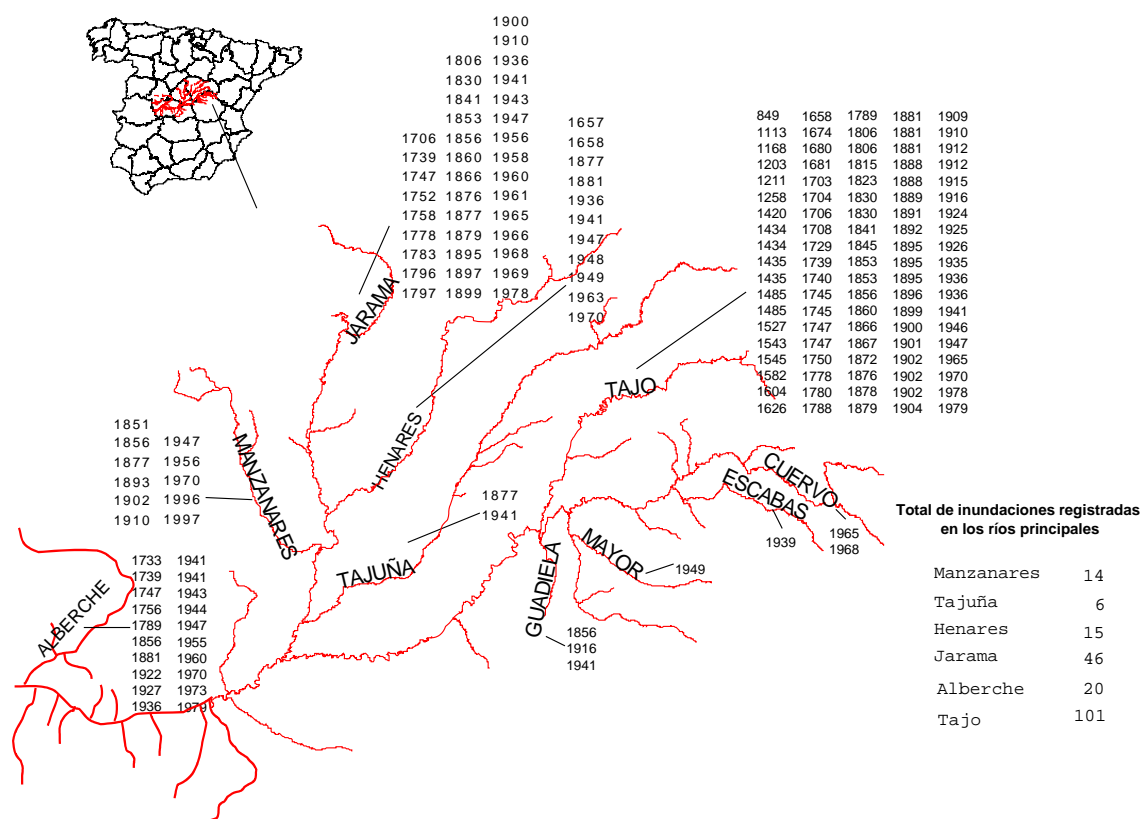
**Tomo II  
ANEXOS**

**Directora: Guillermina Garzón Heydt  
Madrid, Septiembre 2004**

## DESCRIPCIÓN DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LAS CUENCAS ALTAS DEL TAJO Y DEL GUADIANA

### INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA ALTA DEL TAJO

Se han descrito de forma detallada e individualizada las inundaciones históricas registradas en la cuenca alta del Tajo desde el año 849 hasta 1998, con referencia al año y mes de ocurrencia, e incluyendo la información extraída de cada episodio. En la *Figura I.1* aparecen representados algunos de los eventos más significativos.



**Figura I.1** - Resumen de las principales inundaciones históricas en la cuenca alta del Tajo

---

**849 →** Una gran inundación del Tajo arrasó 18 alquerías. Es el registro histórico de inundación más antiguo que se conoce en la cuenca, pero no consta de más detalles del acontecimiento, ni se menciona la localización de la inundación. Pudo ser un episodio de inundaciones generalizadas en la cuenca.

**1113 →** Una avenida del río Tajo cubrió el arco de la puerta del Almohade, en la ciudad de Toledo.

**1168 →** Febrero: el 20 de Febrero el río Tajo provocó una avenida en la ciudad de Toledo. El agua sobrepasó la muralla más baja de la parte oriental de la ciudad de Toledo, e inundó la iglesia de San Isidoro.

**1203 →** El río Tajo desbordó a su paso por la ciudad de Toledo. El agua se llevó la puerta vieja de San Martín. Los restos de esta avenida se conocen como "Baños de lava", quizá por la gran carga de sedimentos que llevaría la avenida.

**1211 →** Febrero: El río Tajo sufrió una gran crecida a su paso por la ciudad de Toledo, derribando un pilar del puente de Alcántara.

**1258 →** 26 de Diciembre: el río Tajo registró, a causa de un fuerte temporal, una gran riada a su paso por el puente de Alcántara (Toledo).

**1420 →** Noviembre: el 29 de Noviembre el río Tajo a su paso por Montalbán (Toledo) registró una gran avenida. En los últimos 50 años no se había registrado una avenida de similar magnitud en la cuenca. Según transcripción literal de la "Crónica del halconero de Juan II", donde se relata la fuga de Juan II al Castillo de Montalbán: "El río Tajo venía avenida cual nunca sino cincuenta años antepasados".

**1434 →** Diciembre: El Tajo sufrió inundaciones en este mes debido a lluvias y nieves persistentes generalizadas en gran parte de la Península que se extendieron desde el 1 de Noviembre de 1934 hasta el 7 de Enero de 1435.

**1435 →** Enero: continuaron produciéndose inundaciones en la cuenca del Tajo debidas a las lluvias comenzadas en Noviembre del año anterior. En estas fechas se registraron lluvias persistentes, desde el 1 de Noviembre de 1434 hasta el 7 de Enero de 1435, en gran parte de la Península, originando inundaciones en la cuenca del Tajo en los primeros meses de 1935.



---

**1485** → Noviembre y Diciembre: Se produjeron en estas fechas inundaciones debidas a las fuertes lluvias en la cuenca del Tajo y en otros ríos de Castilla, Andalucía y Portugal.

**1527** → Enero: Se produjo una inundación el 20 de Enero en Buenavista (provincia de Toledo).

**1527** → Diciembre: se produjeron crecidas y desbordamientos en la cuenca del Tajo debidos a las fuertes precipitaciones de lluvia y nieve.

**1543** → El Tajo sufrió una avenida a su paso por la ciudad de Toledo

**1545** → Diciembre: la población de Zorita sufrió los efectos de una fuerte avenida del Tajo. El puente de Zorita quedó destruido totalmente, según un manuscrito conservado en el que Matías Escudero relata fielmente lo sucedido.

\* Durante el siglo XVI hay cuatro registros más de inundaciones en la cuenca del Tajo (años 1544, 1572, 1581 y 1586), pero no se detallan daños, ríos implicados ni poblaciones afectadas.

**1604** → 18 a 21 de Enero: el Tajo provocó desbordamientos a su paso por Aranjuez, provocando daños en los jardines de esta localidad. De los testimonios escritos de este episodio se extrae el siguiente comentario: "El río Tajo ha hecho notables daños en los jardines de Aranjuez, de manera que no se podrá remediar en algunos meses"

**1611** → en la primavera de este año se registraron inundaciones generalizadas en la cuenca del Tajo.

**1626** → en Talavera de la Reina el Tajo resgistró una "furiosa avenida", alcanzando las aguas una piedra blanca de la Torre de Talavera que está situada a considerable altura.

**1657** → 17 de Diciembre: el río Henares desbordó a su paso por Alcalá de Henares. Según la narración de Jerónimo de Barrionuevo, en su libro "Avisos" (1654- 1658): "...por acá los días son crudos y tantas las aguas que no se puede salir de casa. El domingo, al entrar por la puente Segoviana, su capitán, en un caballo muy bueno, erró la entrada y se lo llevó el río...". Según otros datos históricos de la época, el invierno de este año en Madrid fue muy frío y lluvioso, lo que provocó el desbordamiento de los ríos.

**1658** → Mayo: los ríos Tajo y Henares sufrieron inundaciones. El Tajo desbordó a su paso por Aranjuez (Madrid) y Talavera de la Reina (Toledo). Jerónimo de Barrionuevo en su libro

---

"Avisos" (1654 - 1658) hace una referencia a una crecida de los ríos Henares y Tajo. En Aranjuez, el Tajo arrastró parte de los jardines.

**1674 →** El Tajo volvió a registrar una avenida en Talavera de la Reina, alcanzo el agua 14 pies de altura. La plaza de toros y la Hermita de la Virgen del Prado sufrieron destrozos.

**1680 →** debido a las fuertes lluvias, el Tajo comenzó a crecer de madrugada a su paso por Aranjuez, desbordándose y produciendo daños en jardines, huertas, tapias, presas y molinos. El agua sobrepasó los puentes de esta población.

**1681 →** el río Tajo desbordó causando grandes daños a su paso por Talavera de la Reina

**1703 →** debido a las fuertes lluvias unidas a las aguas de deshielo, el Tajo desbordó, entre los días 3 y 8 de Marzo de este año, a su paso por Aranjuez. Los daños afectaron a jardines y huertas, la calle Alamos, una presa y varios molinos también quedaron dañados.

**1704 →** 27 de Julio: según una transcripción literal de Ildefonso Fernández Sánchez, de 1896 ("Historia de la muy noble y muy leal ciudad de Talavera de la Reina"): "Estaba el Tajo casi seco y de repente experimentó una avenida tan grande que se pararon los molinos". Este episodio afectó a Talavera de la Reina.

**1706 →** Febrero: del 3 al 4 de Febrero se produjeron fuertes lluvias y nevadas en Aranjuez, provocando la crecida y desbordamiento de los ríos Tajo y Jarama durante los días posteriores (del 5 al 8 de Febrero), quedando afectados los jardines, las tapias, un molino y las huertas.

**1708 →** Enero: El río Tajo experimentó una extraordinaria crecida después de 90 día consecutivos de lluvias.

**1719 →** Una gran crecida del arroyo Portiña inundó la ciudad de Talavera de la Reina.

**1729 →** Diciembre: una crecida con desbordamiento del Tajo a su paso por Aranjuez provocó daños en los cimientos del palacio y de las fábricas de esta población.

**1733 →** Junio: el río Alberche sufrió una avenida afectando a las poblaciones de Santa Olalla y San Clemente. 103 casas quedaron dañadas en Santa Olalla y en San Clemente se vieron afectadas 5 casas y 2 puentes.

**1739 →** Noviembre: el río Jarama creció y se desbordó debido a las fuertes lluvias.

---

**1739 →** Diciembre: el 4 de Diciembre los ríos Tajo, Jarama y Alberche desbordaron. Se vieron afectadas las poblaciones de Aranjuez y Escalona. Sufrieron daños los jardines de Aranjuez y un puente.

**1740 →** el Tajo desbordó en Aranjuez este año, en concreto el jardín de la Isla, el Puente Verde y la Calle de la Huelga quedaron inundadas. Se invirtieron 1680 reales en costos de reparación.

**1745 →** Febrero: el río Tajo desbordó a su paso por Aranjuez. Los jardines y las huertas sufrieron daños, aunque no se perdieron totalmente los cultivos; las tapias de una fábrica también sufrieron daños.

**1745 →** en Abril el río Tajo inundó de nuevo Aranjuez, destrozando huertas y arboleda.

**1747 →** 29 y 30 de Enero: los ríos Tajo y Jarama desbordaron a su paso por Aranjuez. Los jardines, las huertas y las tapias de esta población sufrieron daños. El agua alcanzó 35 cm de altura en la fuente de Diana, en los jardines de Aranjuez. Font Tullot hace referencia a una avenida en el Tajo y Jarama en el año 1747, sin dar más información, posiblemente se refiera a este mismo episodio.

**1747 →** Diciembre: los ríos Tajo, Jarama y Alberche sufrieron avenidas y crecidas. Una de las poblaciones afectadas fue de nuevo Aranjuez, donde quedó dañado el puente de Barcas, en los jardines del Príncipe.

**1750 →** Noviembre: El día 8 de este mes el Tajo creció en Aranjuez desde las 6 de la mañana a las 7 de la noche, provocando daños en el puente del embarcadero sobre el Tajo y un puente del Jarama en la misma población. En 34 años no se había visto una crecida de igual magnitud en una época que no era de lluvias ni nieves.

**1752 →** Septiembre: el río Jarama registró una avenida. La población de Aranjuez se vio muy afectada. Los daños alcanzaron a los molinos, las huertas, una presa y el puente de Barcas en los Jardines del Príncipe. El Palacio, el Oratorio y la Casa de Oficios de Aceca también se vieron afectados.

**1756 →** una importante crecida del río Alberche arrastró un puente de madera en el término municipal de Talavera de la Reina.

**1758 →** Diciembre: El domingo, 3 de Diciembre, al anochecer, el Jarama a su paso por Aranjuez, comenzó a crecer y continuó creciendo con tanta fuerza que a las tres de la madrugada rompió

---

---

el puente Viejo, construido de palos y ladrillos. A esta hora el agua alcanzó una altura de 15 pies en este punto.

**1777 →** Enero y Diciembre: a principios y finales del año 1777 se registraron inundaciones generalizadas en la cuenca del Tajo.

**1778 →** Enero: en Enero de este año el río Tajo provocó inundaciones en Toledo.

**1778 →** Enero: los ríos Tajo y Jarama desbordaron a su paso por Aranjuez y Toledo. En Aranjuez, el agua alcanzó una gran extensión, aproximadamente 50 pies en longitud, llegando hasta la calle Colmenar, y quedaron afectadas 42 tierras de cultivo de cereal y barbecho, 29 tramos de enrejado, un espolón artificial del río. En Toledo, en el lugar llamado el Barco, hay una losa de piedra que señala la altura alcanzada por el agua en ese lugar.

**1780 →** los ríos Tajo, Gévalo y el arroyo Overo, afluente del Gévalo, sufrieron avenidas y crecidas, desbordando en las poblaciones de Talavera de la Reina y Alcaudete de la Jara.

**1783 →** Marzo: el 7 de Marzo el río Jarama creció debido a las fuertes lluvias y desbordó en el vado de Bayona, en el término de Aranjuez, perdiéndose siete galeras y catorce mulas.

**1788 →** Mayo: en Mayo de 1788 el río Tajo, debido a las lluvias, provocó una avenida en Toledo.

**1789 →** Mayo: se produjeron inundaciones en la provincia de Toledo. El Tajo experimentó una impetuosa avenida en Aranjuez y el río Alberche también creció y se desbordó.

**1795-96 →** Diciembre, Enero y Febrero: desde Diciembre del año 1795 hasta febrero de 1796 los ríos Tajo y Jarama sufrieron repetidas avenidas. Dos de las poblaciones más afectadas fueron Seseña, en la provincia de Toledo, y Aranjuez. Según la transcripción de una carta dirigida al Papa desde Aranjuez: "...fuertes avenidas cortaron la cacera de la Media Luna, en la Vega de la Serena, junto a la Dehesa nueva del Rey, imposibilitando los riegos..."

**1797 →** en invierno de este año el río Jarama registró una avenida en Aranjuez.

**1806 →** 13 y 14 de Enero: el Tajo desbordó a su paso por Aranjuez. El agua alcanzó 4 pies (1,4 m.). "...En la noche del 13 al 14 de este mes de Enero, el agua cubrió con 4 pies el registro del puente de Barcas de Aranjuez. Las aguas cruzaron por encima del Camino Real de Madrid..."

---

**1806** → 5 de Noviembre: los ríos Tajo y Jarama desbordaron. En el amanecer del 5 de Noviembre, el río Tajo alcanzó de nuevo cerca de 4 pies de altura (1,4 m.) en el puente de Barcas de Aranjuez. El caudal del Jarama creció 8 pies (2,8 m.) cerca de su desembocadura en el Tajo.

**1815** → Enero: el 31 de Enero el Tajo desbordó en Aranjuez. Según el conserje del Palacio Real de Aranjuez "creció fuertemente saliendo hasta cubrir por partes, aunque no de consideración, el camino de Madrid".

**1823** → Febrero: el día 3 de este mes el río Tajo desbordó en la localidad de Aranjuez. Los caminos de entrada a la ciudad quedaron cortados. Los viajeros no pudieron llegar hasta Aranjuez, que quedó incomunicada varios días.

**1830** → Septiembre: el 1 de Septiembre comenzó a llover abundantemente en Aranjuez, provocando crecidas durante tres días en el Tajo y el Jarama. La zona más afectada fue el Mar de Ontígola. En la población de Aranjuez se registraron daños en los caminos, que quedaron cortados, en los guardacantones, en las piedras del camino Real, en la Vega Colmenar, en la Casa de Oficios y la Casa del Labrador.

**1831** → Enero: en este mes de Enero se registraron inundaciones generalizadas en la cuenca del Tajo.

**1841** → 10 al 18 de Febrero: los ríos Tajo y Jarama sufrieron una crecida y desbordaron. De nuevo se vio afectada la población de Aranjuez. Sufrieron dañados los sotos de los jardines (Reales Bosques); aparecieron conejos muertos; las alcantarillas se atascaron, perdiendo su capacidad de desagüe y en los campos de labor se inundaron alrededor de 90- 100 fanegas de tierra.

**1845** → 17 al 20 de Marzo: el río Tajo registró una avenida en Aranjuez. Se vieron afectados el Camino Real y el Puente de la Reina.

**1851** → Abril: en la primavera de este año se registraron inundaciones en la cuenca del Tajo. El río Tajo y varios afluentes crecieron y se desbordaron, sin que se tengan más datos de las poblaciones afectadas.

**1853** → Marzo, Abril y Mayo: los ríos Tajo y Jarama inundaron Aranjuez y sus alrededores. Las tierras arrendadas por el Real Patrimonio sufrieron daños importantes.

---

**1853 →** Diciembre: El Tajo registró una avenida extraordinaria que causó daños de consideración en las tierras de labor.

**1856 →** Enero: Debido a las altas lluvias producidas desde los últimos meses de 1855 hasta comienzos de 1856, los días 8, 9 y 29 de Enero de este año se produjeron crecidas y avenidas de los ríos Tajo, Manzanares, Jarama, Alberche y Guadiela, afectando a las poblaciones de Madrid-El Pardo, Aranjuez, Tembleque, varias zonas de La Mancha, embalse de Entrepeñas y pantano de Sacedón, Auñón, Talavera y Escalona. El Tajo en Alcántara registró un caudal de 7000 m<sup>3</sup>/seg. El agua se extendió 30 m en el puente de ferrocarril sobre el río Manzanares, provocando daños también en el puente de San Fernando y en la localidad de El Pardo. Se perdieron más de 1000 cabezas de ganado en las zonas afectadas y los habitantes de las riberas del Manzanares fueron desalojados el 8 de Enero de 1856. Se unieron las crecidas del Tajo y el Jarama y se inundaron completamente los sotos de los alrededores de Aranjuez, cubriendo las vías del ferrocarril.

**1860 →** Diciembre: El día 10 de este mes, debido a fuertes lluvias y tormentas, crecieron los ríos Tajo y Jarama en Aranjuez, alcanzando el agua extensiones de 200, 500, 90 y 600 pies en distintos puntos de la población, quedando afectados los sotos, varios puentes, una balaustrada y un malecón, una presa quedó atascada. El día 26 de este mismo mes se produjo otra avenida que superó a la del día 10, las aguas subieron 18 pulgadas sobre las marcas de anteriores avenidas en el Real Sitio de Aranjuez.

**1866 →** Marzo: Debido a los fuertes temporales de viento y lluvias registrados los primeros días de Marzo, el día 20 de este mes desbordaron los ríos Tajo, Jarama y Algodor en la población de Aranjuez y en la Vega de Mazarabuzaque. Quedaron afectadas las vegas, las tierras bajas, las calles y las vías del ferrocarril.

**1867 →** 10 al 11 de Marzo: el río Tajo creció y desbordó a su paso por Aranjuez, causando el destrozo de árboles y del murallón del jardines del Príncipe en la calle Embocador.

**1869 →** en este año se registraron inundaciones generalizadas en la cuenca del Tajo. No se tienen datos de los meses en que produjeron, de los daños ocasionados ni de las poblaciones que se vieron afectadas.

**1872 →** 24 de Enero: el río Tajo volvió a desbordar en Aranjuez, provocando daños en las tierras de labor y en los jardines

---

**1876** → 6 de Diciembre: los ríos Tajo y Jarama desbordaron. Sufrieron daños las poblaciones de Garrovillas, Alcántara, Toledo, Cabezuela, Tornavacas, Plasencia, Cembre, Montachez, Ceclavin y Aranjuez. Se aforaron caudales instantáneos de 1580 m<sup>3</sup>/seg y 1500 m<sup>3</sup>/seg en el Tajo en Portugal y alturas de agua de 20 m a más de 31 m (13, 47 m. sobre el nivel de estiaje) y más de 4 Km. de extensión en Acebuche. Las aguas superaron en más de 1 m. de altura a las avenidas de 1856 y 1739. Según protección Civil, se construyó el hidrograma en la estación de aforos de Villa Velha de Rodao (Portugal) y el caudal instantáneo obtenido fue de 1500 m<sup>3</sup>/seg para el día 7 de Diciembre. Solo faltaron 5 m. para salvar los cítares del puente romano de Alcántara. Este episodio se puede considerar de magnitud extrema.

**1877** → Septiembre: el 5 de Septiembre las fuertes lluvias provocaron crecidas en los ríos Tajuña, Henares, Jarama y varios arroyos de la cuenca del Tajo, quedando afectadas las poblaciones de Tielmes, Carabañas, Brihuega, Cifuentes, Sigüenza, Bustarviejo y Carencia. El agua alcanzó 1 m en el río Henares en su cruce con las vías de ferrocarril de la línea Madrid- Zaragoza. Las cosechas sufrieron daños, así como 30 casas, molinos y fincas.

**1878** → 20 y 21 de Diciembre: el río Tajo desbordó a su paso por Aranjuez, quedando inundadas 12 calles de esta localidad

**1879** → los ríos Tajo y Jarama volvieron a desbordar provocando daños en Aranjuez.

**1881** → Enero y Febrero: entre los días 12 de Enero y 14 de Febrero de 1881 el Tajo desbordó en Aranjuez, provocando el destrozo de una fábrica de harina, varias calles y daños en los jardines. El río cambió de dirección en el Soto de Legamanejo. Los días 27 y 28 de Enero de este mismo año 1881 los ríos Tajo, Alberche, Algodor, Henares y Guadamés desbordaron a causa de las fuertes lluvias. Las poblaciones de Talavera y Sigüenza fueron de las más afectadas en esta ocasión. El río Guadamés creció a su paso por Sigüenza alcanzando el agua una altura de 6,70 m. sobre el nivel de estiaje, esta subida se produjo el día 28 a las 6 de la tarde. En estas mismas fechas hubo que desalojar la estación de ferrocarril de Algodor y se trasladó a Castillejos. El Tajo subió en un día 0,30 m., concretamente el 28 de Enero, en total el agua alcanzó en estos días una altura de 2,85 m. sobre el nivel ordinario.

**1881** → 25 a 27 de Junio: se produjeron avenidas generalizadas en la cuenca del Tajo. Las vías de ferrocarril entre Ciudad Real, Badajoz y Toledo quedaron inundadas

**1886** → Abril: el 27 de Abril, después de fuertes tormentas con lluvias y granizada, varios arroyos afectaron a las huertas, jardines y arbolado en la población de Villaviciosa de Odón.

---

**1888 → Marzo:** los días 12 y 13 de Marzo de 1888 el río Tajo desbordó en Aranjuez, debido a las fuertes lluvias, provocando numerosos daños en los Jardines del Príncipe. Los días 28 y 29 de este mismo mes de Marzo, y debido de nuevo a las fuertes lluvias, el río Tajo volvió a desbordar en Aranjuez, provocando daños en los jardines del Príncipe (Islas Americanas), en la casa de Marinos, en el malecón de la Solera, en el puente de la Reina y el Soto del Rebollo.

**1889 → Marzo:** El Tajo registró una inundación en Aranjuez, debido a las fuertes lluvias.

**1889 → Mayo:** Las fuertes lluvias que afectaron el día 25 de Mayo a la localidad de Chinchón, destruyeron todas las cosechas y provocaron innumerables daños

**1891 → Septiembre:** en este año se registraron crecidas con desbordamientos debidas a las fuertes lluvias e inundaciones generalizadas en la cuenca del Tajo. Entre los días 12 y 14 de Septiembre las copiosas lluvias provocaron desbordamientos en los ríos Tajo, Algodor y otros afluentes de la cuenca del Tajo, afectando a las poblaciones de Castillejos, Orgaz y Mora. El agua alcanzó una altura de 3 m. en Castillejos y en la estación de ferrocarril de Algodor parte de la vía del tren fue arrastrada 100 m. por el agua.

**1892 → 14 y 15 de Marzo:** el Tajo vuelve a inundar en Aranjuez, alcanzando las aguas más de 1 m. de altura en la calle de la Reina y calles adyacentes, también se rompió el malecón de la Solera

**1892 → Mayo:** el día 26 de Mayo se produjeron fuertes tormentas de lluvia y piedra que provocaron la crecida del Tajuña, desbordando a su paso por Añofrín, Mazarambraz, Fonseca y Chinchón. Se perdieron todas las cosechas.

**1893 → Septiembre:** los días 14 y 15 de Septiembre las lluvias torrenciales provocaron crecidas en los ríos Manzanares y Arroyo Valtorón. Las poblaciones de Villasequilla, Tembleque, Tenerta, Madrid, Yepes, Mora, el Molar y Valdetorres quedaron afectadas por los desbordamientos y las fuertes lluvias. El arroyo Valtorón afectó a las poblaciones de Molar y Valdetorres, alcanzando las aguas más de 1 m. de altura en el Molar. En Valdetorres 60 edificios quedaron inundados. El Manzanares sufrió una leve crecida en estas fechas.

**1895 → 17 de Enero:** el Tajo desbordó a su paso por Aranjuez provocando destrozos en los jardines del Príncipe

**1895 → 22 de Enero:** el río Tajo desbordó en Aranjuez, causando daños en las tierras de labor (se perdieron 25 fanegas de tierras) y en los jardines.



---

**1895 →** Febrero: el 6 de Febrero los ríos Tajo y Jarama crecieron debido a las lluvias a su paso por Aranjuez, el agua alcanzó 11 pies en el Tajo sobre su nivel ordinario.

**1896 →** Diciembre: el día 7 de Diciembre el río Tajo creció en Aranjuez 1,5 m. por encima del nivel ordinario. La posible causa de esta crecida fue un atasco con maderas aguas arriba del Caz de Azuda.

**1897 →** 9 de Enero: el río Jarama creció en su desembocadura con el Tajo, registrándose desbordamientos en Aranjuez y alrededores. El agua alcanzó 14 pies sobre el nivel ordinario del río.

**1899 →** 11 al 15 de Agosto: los ríos Tajo y Jarama desbordaron en Toledo y Madrid entre los días 11 y 15 de Agosto.

**1900 →** Febrero: Los ríos Tajo y Jarama comenzaron a crecer a las 3 de la tarde del día 12 de Febrero, a las 7 de la tarde de ese mismo día se acentuó la subida de las aguas y a las 11 de la mañana del día 13 se produjo una gran crecida que desbordó en Aranjuez.

**1901 →** Marzo: El Tajo experimentó una gran crecida en Aranjuez, alcanzando el agua 8 m. sobre el nivel ordinario a la 1 de la madrugada del día 3 de Marzo. No se registraba una crecida igual desde 1860

**1902 →** Febrero: Los días 1, 9-15 de Febrero el Tajo desbordó a su paso por Aranjuez. Se produjo el hundimiento de un muro en los jardines del Príncipe de Aranjuez el día 9 o 15 (sin determinar claramente). En estas fechas las nuevas lluvias acentuaron la riada iniciada el día 1 de Febrero.

**1902 →** Febrero: el 27 de Febrero una inundación del Tajo afectó a la población de Toledo.

**1902 →** Marzo: en Marzo de 1902 el río Tajo provocó una inundación a su paso por Aranjuez.

**1902 →** Septiembre: el río Tajo en Aranjuez provocó el hundimiento de un muro en los jardines del Príncipe de Aranjuez.

**1904 →** 3 de Febrero: el río Tajo desbordó a su paso por Aranjuez, provocando daños en calles y arboledas de esta localidad

---

**1910** → Diciembre: entre los días 8 y 10 de Diciembre los ríos Tajo, Manzanares y Jarama provocaron desbordamientos en las poblaciones de Toledo, Poveda y Rivas Vaciamadrid. El día de 10 de Diciembre el agua alcanzó 2 m de altura en el Tajo a su paso por Toledo. Los ríos Manzanares y Jarama también aumentaron su caudal, inundando sus riberas y provocando grandes daños, sobre todo en las márgenes del Manzanares. También se registraron daños en la línea de ferrocarril Madrid-Toledo, así como en la carretera provisional Madrid-Valencia, donde el Jarama alcanzó aguas altas, concretamente en las localidades de Poveda y Ribas Vaciamadrid, desbordando los días 9 y 10 de Diciembre.

**1912** → Febrero: entre los días 7 y 10 de Febrero, las copiosas lluvias provocaron crecidas en los ríos Tajo, Algodor, Jerte, Arroyo Higueras y Ambroz, provocando desbordamientos en Aranjuez, Hervás, Moraleja, Plasencia, La Vera, Tejeda del Tiétar y Alcántara. El agua alcanzó 7 m. sobre las primeras dovelas de los arcos del puente de Alcántara. En Hervás se hundieron 8-10 casas, en Moraleja desbordó el arroyo Merdero, en Plasencia desbordó el Jerte, y en Tejeda del Tietar los efectos de la lluvia se dejaron sentir en la garganta de Gargüera. El día 7 de Febrero el agua en el Tajo, a su paso por Aranjuez, subió 14 pies sobre el nivel ordinario y el día 10 se produjeron 20 m. de desprendimientos en el malecón de la Solera y la entrada de agua en la casa de máquinas de Sotomayor, también en la población de Aranjuez.

**1915** → 4 de Enero: el río Tajo sufrió una crecida desbordando a su paso por Aranjuez. En esta ocasión se registraron daños en la presa del Embocador, en los jardines del Príncipe donde las márgenes del río se abrieron por varios puntos, y la Casa del Labrador quedó rodeada de agua. Muchos árboles y el malecón del río quedaron dañados. El agua alcanzó 100 m. en el canal Chico.

**1916** → 19 y 20 de Diciembre: los ríos Tajo y Guadiela registraron crecidas que afectaron a las poblaciones de Peralejos, Almonacid, Villamanrique del Tajo, Toledo. El agua alcanzó 8 m. sobre el nivel de estiaje en el puente Bolarque, en el antiguo camino de Sayatón a Almonacid, 10 m. en el puente de Sayatón y más de 8 m. en Villamanrique. En Peralejos el agua se llevó un puente, además de muebles, enseres, ropa, etc. y la población tuvo que refugiarse en el tejado de las casas. En Tolero sufrieron daños las huertas y el tráfico ferroviario. Las alturas de agua alcanzadas en estas crecidas se debieron en gran parte al relieve de las zonas afectadas, que no favorece el drenaje del agua.

**1922** → El río Alberche alcanzó un caudal de 2120 m<sup>3</sup>/seg en su desembocadura con el Tajo, provocando una avenida de magnitud extrema.

---

**1924** → 29 de Marzo y 1 de Abril: Los ríos Tajo, Algodor y varios afluentes del Tajo provocaron desbordamientos debidos a las fuertes lluvias en la provincia de Cuenca y Toledo. La población de Aranjuez sufrió de nuevo los efectos de la crecida del Tajo. Las carreteras y las líneas de ferrocarril se cortaron, llegando el tren solo hasta Villaseca. Debido a la crecida del Algodor, cuarenta familias se vieron amenazadas, subiéndose algunos vecinos a los tejados de sus casas. Se perdieron también gran número de animales.

**1925** → Noviembre: el 26 de este mes se produjeron grandes temporales que provocaron el desbordamiento del Tajo a su paso por Alconetar, provocando grandes desperfectos en el puente de esta población, en construcción en esas fechas.

**1926** → Noviembre: el 9 de Noviembre el Tajo experimentó una crecida extraordinaria, alcanzando una caudal de 1504 m<sup>3</sup>/seg.

**1927** → 24 de Diciembre: Los ríos Tiétar y Alberche desbordaron, a consecuencia de una fuerte crecida, a su paso por las poblaciones de Mombeltrán, Arenas de San Pedro, San Esteban del Valle y Santa Cruz del Valle, destrozando 2 molinos y 3 puentes. Se perdieron numerosas cabezas de ganado. El Alberche causó daños considerables en los Km. 41 y 42 de la carretera de Ávila a Sotillo de Ladrada.

**1928** → Septiembre: el 11 de Septiembre las lluvias provocaron la erosión de la margen del Tajo a su paso por Aranjuez. En la calle de las Aves, las aguas se extendieron 50 m. en superficie, rebosando el canal del Caz de las Aves en el puente de Valdelascasas (Sotomayor). El desbordamiento se produjo debido a una fuerte tormenta y también debido al arrastre y acumulación de piedras y arena en el cauce.

**1930** → Junio: El 4 de Junio las fuertes lluvias taponaron el alcantarillado de la Calle General Ricardos en Madrid, haciendo insuficiente su capacidad de desagüe, que fue insuficiente. El agua provocó daños en una finca y 4 casas.

**1935** → 26 y 27 de Diciembre: los ríos Tajo, Tiétar y varios afluentes de la cuenca, debido a las fuertes lluvias, provocaron avenidas en las poblaciones de Arenas de San Pedro, San Esteban del Valle, Oropesa, Béjar, Coria y Candeleda. La riada abrió en la presa de Santa Ana un boquete de 10 m. por donde entró el agua y arrasó los pilotes, provocando la ruina de ésta, ya de por sí, deteriorada presa. Estos episodios fueron de una magnitud muy alta.

**1936** → Enero: el 24 de este mes el río Tajo y varios afluentes desbordaron, debido a las fuertes tormentas, a su paso por Aranjuez, Villacampo, Arenas de San Pedro, San Esteban del Valle,

Candelada, Mombeltrán. El desbordamiento del Tajo dejó inutilizada la carretera de Aranjuez a Villacanejos y dificultó el tráfico en el Km. 4 de la N- IV Madrid- Cádiz.

**1936** → 16 al 22 de Febrero: Los ríos Tajo, Alberche, Henares y Jarama y varios arroyo provocaron desbordamientos importantes en las poblaciones de El Tiemblo, Guadalajara, Talavera de la Reina, Escalona, Aranjuez, San Fernando de Henares, Alcalá de Henares El día 22 de Febrero el arroyo Luche, al SW de la Madrid capital, desbordó inundando un tramo de la carretera de Extremadura y una huerta. Guadalajara capital también se vio afectada por las crecidas del Henares, sufriendo daños una central eléctrica y un puente. El río Henares a su paso por Guadalajara arrastró varios postes de alta tensión, produciéndose cortes de electricidad, y el agua llegó a alcanzar 4 m. sobre el nivel ordinario del río. Las poblaciones de San Fernando de Henares y Alcalá de Henares registraron numerosos daños, quedando destruidas las huertas cercanas a una escuela, el puente de Zulema, algunas tierras de labor y una fábrica de harina.

**1939** → Febrero: El río Escabas provocó una avenida en Priego, registrándose un caudal de 52 m<sup>3</sup>/seg.

**1941** → Enero: entre los días 22 y 26 de Enero los ríos Tajo, Guadiela, Henares, Tajuña, Alberche, Gabela y Jarama, provocaron avenidas y desbordamientos en las poblaciones de Zorita, Aranjuez, Arganda, Titulcia, San Martín De La Vega, Ciempozuelos, Guadalajara, Tielmes, Talavera y Alcaudete De La Jara. Se alcanzaron caudales de 2000 m<sup>3</sup>/seg en Zorita, 2500 m<sup>3</sup>/seg. en Aranjuez y en el Jarama. El Henares alcanzó 10- 12 m. sobre el nivel ordinario y registró un caudal de registró 630 m<sup>3</sup>/seg. En la presa de Zorita el agua alcanzó 1,43 m. sobre su coronación, el día 24 a las 23,30 horas. Las lluvias y temperaturas suaves derrieron la nieve y comenzó el día 22 la riada enorme del Guadiela, seguida del Tajo que se le sumó el día 24 a las 10 de la noche. La central de Zorita quedó aislada y hubo cortes eléctricos. La altura alcanzada por la lámina de agua en los alrededores de la central fue de 4,80 m. y en las puertas de la sala de máquinas de 2,43 m. El caudal aforado llegó a los 2000 m<sup>3</sup>/seg, un aumento enorme teniendo en cuenta el caudal medio ordinario de 40 m<sup>3</sup>/seg y mínimo de 8 m<sup>3</sup>/seg. En Aranjuez hubo daños en canales y huertas de regadío. El caudal estimado en Aranjuez el 21 de Enero fue de 2500 m<sup>3</sup>/seg, igual que el aforado en el Jarama, antes de llegar a Aranjuez, el día 25. Hubo cortes en los terraplenes de Arganda y el día 22 en el Henares se aforaron 630 m<sup>3</sup>/seg.

**1941** → El arroyo Tageña y el río Alberche provocaron una gran inundación en Talavera de la Reina. Se registró también una inundación en la población de Torrejón. No hay más datos sobre estos episodios.

---

**1943** → 25 de Marzo: El río Alberche, debido a las fuertes lluvias de este mes, desbordó en el término de Talavera de la Reina, concretamente en El Burguillo, registrándose un caudal de 1420 m<sup>3</sup>/seg.

**1943** → Abril: el 21 de Abril el río Jarama provocó una avenida, debida a las fuertes lluvias y al deshielo, en Velilla de San Antonio. Se aforó un caudal de 314 m<sup>3</sup>/seg en Mejorada del Campo. El agua alcanzó 3 m. de altura, medidos en la finca el Piul. 20 m. de terreno quedaron afectados en las márgenes del Jarama.

**1944** → el río Alberche registró avenidas en Burgohondo y Navarrevisca.

**1946** → 1 al 3 de Abril: El Tajo desbordó a su paso por Aranjuez, provocando daños materiales considerables. El río comenzó a crecer la noche del día 1 y a las 7 de la mañana del día 2 rompió 20 pies de la presa El Caz y Sotomayor, desencadenándose un fuerte desbordamiento.

**1947** → 2 al 6 de Marzo: los ríos Tajo, Tajuña, Jarama, Henares, Manzanares y Alberche registraron avenidas y desbordaron a su paso por las poblaciones de Aranjuez, Toledo, Talavera de la Reina, San Fernando de Henares, Rivas Vaciamadrid, Velilla de San Antonio, Sigüenza, Alcalá de Henares, Madrid, Arganda y Guadalajara, en las provincias de Toledo, Madrid y Guadalajara. Se aforaron caudales entre 988,5 m<sup>3</sup>/seg y 1009 m<sup>3</sup>/seg en Mejorada del Campo el día 3 de Marzo, en el río Henares se registraron 540 m<sup>3</sup>/seg. a su paso por Guadalajara y 572 m<sup>3</sup>/seg en la estación de aforos de Espinillos, aguas abajo de dicha población. En el Parque Sindical de Madrid, el Manzanares registró 149 m<sup>3</sup>/seg, y en Talavera de la Reina el Tajo alcanzó un caudal de 7320 m<sup>3</sup>/seg. En la estación de aforos de Orusco, sobre el río Tajuña, se midieron 112 m<sup>3</sup>/seg. En cuanto a las alturas de la lámina de agua, el río Henares a su paso por Guadalajara aumentó su altura de agua 4,5 m. sobre el cauce ordinario. En la carretera de Andalucía, en la confluencia Tajo-Jarama, el agua se elevó 80 cm. sobre la carretera y el puente Largo. El Manzanares desbordó por el arroyo de la Elipa, entre Ventas y el cementerio de la Almudena y también en la Estación del Norte. La estación de Seseña también se inundó. Otros caudales aforados en esta fecha.

**1948** → Enero: El río Henares registró una avenida en Alcalá de Henares, destrozando un puente. El caudal medido en la estación de aforos de Espinillos fue de 199 m<sup>3</sup>/seg. Los ríos Tajuña, Jarama y Tajo también registraron avenidas en esta fecha, y se aforaron caudales de 112 m<sup>3</sup>/seg en el río Tajuña, a su paso por la estación de aforos de Orusco, 1800 m<sup>3</sup>/seg en el río Tajo a su paso por Talavera de la Reina y 972 m<sup>3</sup>/seg en el Jarama a su paso por Mejorada del Campo.

---

**1949** → Mayo: el día 28 se produjo una fuerte tormenta que provocó el desbordamiento del Barranco de Valdecasas, en la localidad de Aranjuez.

**1949** → 7 de Septiembre: Los ríos Henares y Mayor provocaron desbordamientos y trombas de agua debido a las fuertes lluvias y a una tormenta de gran magnitud, a su paso por Guadalajara y Valdenoches, provincia de Guadalajara. Se aforó un caudal de más de 1000 m<sup>3</sup>/seg en el río Mayor y el agua se elevó 3m. por encima de la presa del canal de Estremera. La avenida del río Mayor duró 20 horas. El agua alcanzó 2 m. dentro de una fábrica de aceite en Guadalajara, población en la también se registraron numerosos daños en casas, fábricas, tapias, etc.

**1955** → 14 de Diciembre: el río Alberche y otros afluentes del Tajo registraron crecidas debido a las fuertes lluvias y desbordaron en varias poblaciones, siendo Talavera de la Reina la más afectada por estos episodios.

**1956** → Enero y Febrero: el río Jarama, a su paso por San Martín de la Vega, aguas arriba del puente de Pindoque, registró una avenida de gran magnitud que abrió grandes socavones y profundizó cauces secundarios en su ribera izquierda.

**1956** → 20 al 30 de Marzo: El río Manzanares provocó un desbordamiento en Villaverde Bajo, en la margen derecha del río, volcando una torre de la línea eléctrica.

**1956** → Noviembre y Diciembre: El río Jarama provocó una avenida en San Fernando de Henares y en Aranjuez, la Real Acequia del Jarama registró también los efectos de esta avenida. En San Fernando de Henares se registraron daños en la finca "Granja Wellington" y la forma del canal quedó alterada.

**1958** → Diciembre: debido a las fuertes tormentas, el 17 de Diciembre los ríos Jarama y Tiétar provocaron inundaciones. Se registró un caudal de 124,6 m<sup>3</sup>/seg. en la estación de aforos nº 70 denominada de la "Bombilla". La Real Acequia del Jarama quedó rota en el kilómetro 23,5.

**1960** → 22 de Febrero: debido a una avenida extraordinaria del río Alberche, el embalse de derivación del Canal Bajo se llenó casi por completo, llegando la lámina de agua hasta los 4,50 m., medio metro menos que la altura máxima prevista en el proyecto de la obra (5 m.), aún teniendo abiertas 6 de la 7 compuertas del embalse.

**1960** → Septiembre, Octubre y Noviembre: el río Jarama, a su paso por San Fernando de Henares, volvió a provocar daños en la finca "Granja Wellington", en la margen derecha del río,

---

rompiéndose las estructuras de defensa de la finca y modificándose la forma del cauce, como ya ocurrió en 1956.

**1961** → Enero, Febrero y Diciembre: el río Lozoya provocó una avenida debido a una fuerte tormenta, destrozando un puente a su paso por Rascafría.

**1961** → 29 de Noviembre: el Jarama registró una avenida debido a las fuertes lluvias que provocó daños en las poblaciones de San Martín de la Vega y San Fernando de Henares. Se aforó un caudal de 494 m<sup>3</sup>/seg en Mejorada, quedaron destrozados muchos árboles y se produjeron daños de nuevo en la finca "Granja Wellington" en San Fernando de Henares y en la finca "La Isla" en San Martín de la Vega. Se produjeron daños en 250 m. a los márgenes de la finca "La Isla" y el cauce del Jarama sufrió variaciones. El invierno de 1961- 62 fue uno de los de mayor índice pluviométrico en la primera mitad del siglo XX.

**1963** → Septiembre, Octubre y Noviembre: El río Henares, en Mejorada del Campo, modificó su cauce debido a una fuerte avenida. El caudal del Henares no encontró un freno por lo que el agua llegó hasta la finca "el Alegralejo". El Jarama se vio influido por el acarreo de gravas y arenas de su afluente, pero al presentar obras de regulación como los embalses de El Vado y el Lozoya, no se registraron daños importantes derivados de este episodio.

**1965** → Septiembre: el río Cuervo registró una crecida importante el día 25 de Septiembre en la provincia de Cuenca.

**1965** → 22 de Noviembre: el río Cuervo registró una avenida con un caudal de 250 m<sup>3</sup>/seg., aguas arriba de la presa "La Tosca" (provincia de Cuenca), que en ese momento estaba en construcción y quedó destruida.

**1965-66** → Diciembre, Enero y Febrero: entre Diciembre de 1965 y Febrero de 1966 el río Jarama registró fuertes crecidas provocando grandes destrozos, inundando en una ocasión la finca "La Isla" en la margen derecha del río, en la localidad de San Martín de la Vega. En estas fechas las inundaciones afectaron tanto a la cuenca alta como a la cuenca baja del Tajo, en la provincia de Cáceres el río Cuacos registró también una gran avenida debido a lluvias torrenciales.

**1966-67** → Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero: Entre los días 6 y 7 de Noviembre de 1966 los ríos Henares y Jarama registraron avenidas con caudales aforados de 223 m<sup>3</sup>/seg. en Humanes y 465 m<sup>3</sup>/seg. en Espinillos para el río Henares y 961 m<sup>3</sup>/seg. en Mejorada del Campo para el río Jarama. El río Jarama volvió a registrar avenidas los meses siguientes, en Diciembre de 1966 y en Enero y Febrero de 1967. El Jarama, muy poco regulado en esta época, ofrecía

---

grandes variaciones en su caudal y en algunos tramos el cauce se había modificado. Por ejemplo, en San Martín de la Vega el lecho del río se trasladó hacia el este, a la altura del puente del camino en dirección a Morata de Tajuña, a unos 25 Km de su confluencia con el Tajo.

**1967 → 18 de Noviembre:** El 18 de Noviembre de 1967, el río Henares volvió a sufrir una avenida, registrándose un caudal de 323 m<sup>3</sup>/seg en Humanes.

**1968 → Enero:** el río Cuervo registró de nuevo una avenida en la provincia de Cuenca, en la presa La Tosca el agua alcanzó 1 m. por encima de su desagüe lateral.

**1968 →** en invierno de este año el río Jarama registró una avenida en San Martín de la Vega.

**1969 → Marzo:** el río Jarama, en San Martín de la Vega, registró una avenida que provocó daños en las defensas de la margen izquierda del río.

**1969 → Marzo, Abril y Mayo:** el río Alberche provocó una gran avenida que erosionó su margen en Albalate de las Nogueras. Se elaboró un proyecto de reparación de daños catastróficos en Septiembre de 1969. Hasta esta fecha no había antecedentes de avenidas conocidas en esta población.

**1970 → Enero:** El río Henares, en Alcalá de Henares, concretamente en la finca "el Cortijo", provocó la mayor avenida registrada hasta el momento por este río desde la construcción de los embalses de regulación.

**1970 → Enero:** Se produjeron en este mes lluvias ininterrumpidas que acabaron provocando el desbordamiento del río Manzanares a su paso por El Pardo. Debido a la poca consistencia de la margen derecha del Manzanares, se produjeron daños en el azud del Pardo. El día 11 de Enero los ríos Tajo, Alberche y otros arroyos provocaron desbordamientos en Talavera y alrededores, a causa de las lluvias y el deshielo. El día 12 se volvieron a producir desbordamientos en otros puntos de la cuenca del Tajo.

**1972 → 3 y 4 de Noviembre:** los arroyos Ardoz, Culebras y el arroyo de la Cañada inundaron Torrejón de Ardoz. La importancia de esta inundación fue mayor debido a la suma de los caudales de los tres arroyos, cuyas cuencas suman 50 Km<sup>2</sup>, y se caracterizan por presentar suelos arcillosos saturados en agua y por tanto con muy baja permeabilidad, por lo que la generación de escorrentía es muy rápida. A esto se unieron las altas precipitaciones, registrándose en este años episodios lluviosos de los más altos del siglo.



---

**1973** → el río Alberche registró una avenida que afectó a la población de Pepino (provincia de Toledo). Este episodio provocó daños en el camino de la Torre, rompiéndose un paso elevado.

**1976** → 10 de Noviembre y 31 Diciembre: El día 10 de Noviembre de 1976 el arroyo Bornova, afluente del Henares en su cuenca media, registró una avenida de 40 m<sup>3</sup>/seg. a causa de las intensas lluvias en los días antecedentes (70 mm.). El 31 de Diciembre de ese mismo año, el arroyo Bornova volvió a registrar una avenida, esta vez de 55 m<sup>3</sup>/seg., aunque las lluvias de ese mes fueron algo menores (60 mm.). El río Manzanares también registró una avenida en el mes de Diciembre de este año, aforándose 108 m<sup>3</sup>/seg. en Rivas Vaciamadrid

**1977** → Enero y Diciembre: El 1 de Enero de 1977 se registró una avenida en el río Jarama a causa de las fuertes lluvias (60 mm.). Los caudales medidos en esta fecha en el río Jarama fueron de 590 m<sup>3</sup>/seg. en su desembocadura con el Tajo, en Aranjuez, y de 287 m<sup>3</sup>/seg. en Algete. Entre los días 5 y 7 de Diciembre de ese mismo año, la Rivera de la Gata se desbordó a su paso por la villa de Moraleja, provincia de Cáceres. En estas fechas las fuertes lluvias fueron generalizadas en toda la cuenca del Tajo, registrándose inundaciones tanto en su parte alta como en su parte baja.

**1978** → Febrero, Marzo, Abril y Mayo: Los días 11, 12 y 13 de Febrero de 1978 registraron avenidas los ríos Tajuña, Henares y Jarama, aforándose caudales de 35 m<sup>3</sup>/seg. en el Tajuña, a su paso por Loranca, de 222 m<sup>3</sup>/seg. en el Henares a su paso por Humanes y en el Jarama se midieron 428 m<sup>3</sup>/seg. en Algete y 918 m<sup>3</sup>/seg. en Mejorada del Campo. En Aranjuez, el Jarama registró 1070 m<sup>3</sup>/seg., en su confluencia con el río Tajo. Los días 25 y 26 de Febrero de ese mismo año volvieron a sufrir avenidas los ríos Henares y Jarama, registrándose en esta ocasión caudales de 214 m<sup>3</sup>/seg. en el Henares a su paso por Humanes y 326 m<sup>3</sup>/seg. en Espinillos. El Jarama en Mejorada registró 1040 m<sup>3</sup>/seg. y en Aranjuez, en la confluencia con el Tajo, 1004 m<sup>3</sup>/seg. Entre los días 1 y 3 de Marzo, el río Tajo registró una fuerte avenida a su paso por Talavera de la Reina, alcanzando un caudal de 1148 m<sup>3</sup>/seg., en esta ocasión el Tajo produjo una crecida tan considerable en la zona que inundó la carretera Nacional-V con mas de 25 cm. de agua, también se inundó la entreplanta y sótanos de la Residencia Sanitaria de Talavera. En estas mismas fechas otros afluentes de la cuenca del Tajo en su mitad inferior, como el Tiétar, el Jerte y el Salor, sufrieron fuertes avenidas, llegándose a registrar caudales de hasta 7957 m<sup>3</sup>/seg. En los meses de primavera de este año 1978, el río Jarama volvió a registrar una fuerte avenida en San Martín de la Vega, que provocó la destrucción de 170 m. de defensas en la margen derecha del río, aguas abajo de la presa del Rey, a la altura del desarenador de la Real Acequia del Jarama, frente al Km. 2 del canal de San Martín de la Vega.

---

**1979 → Enero:** el río Alberche provocó, a causa de una fuerte avenida, daños en el embalse y en la presa de Cazalegas, erosionando el embalse por detrás de los muros cajeros y avanzando hasta el cuerpo central de la presa. El dique sufrió peligro de rotura. Un caudal de 1200 m<sup>3</sup>/seg se vertió por el aliviadero de la presa.

**1979 → Febrero:** del 1 al 14 de Febrero, debido a un fuerte temporal, los ríos Jarama, Tajo, Alagón y el Arroyo Boquerón provocaron avenidas en Coria, Moraleja, Galisteo, La Saucella, Montehermoso y Riobobos. Se registraron caudales de 4040 m<sup>3</sup>/seg, aforado en el río Alagón y 11000 m<sup>3</sup>/seg, aforado en el Tajo, en el sector de El Cedillo. El río Jarama registró 1070 m<sup>3</sup>/seg. en Aranjuez, en su confluencia con el Tajo, 428 m<sup>3</sup>/seg. en Algete y 918 m<sup>3</sup>/seg. en Mejorada del Campo. El tremendo temporal acaecido durante la primera decena del mes de febrero, con 200 mm de lluvia recogida en 3 días, fue la principal causa de estas fuertes avenidas, que provocando numerosos daños especialmente en la mitad inferior de la cuenca del Tajo.

**1987 → Julio:** El arroyo de la Vega de Almoguera registró una avenida en la población de Almoguera (provincia de Guadalajara). La posible causa de esta avenida fue una situación atmosférica asociada a gota fría, que provocó lluvias torrenciales en la zona (*Camarasa y García Abad, 1996*).

**1988 → Junio:** el río Martín Román registró una avenida a su paso por Villasequilla de Yepes.

**1989 → Diciembre:** en este mes la cuenca del Tajo registró avenidas generalizadas, viéndose afectados los ríos Henares, Jarama, Guadarrama, Manzanares, Tajuña, Tiétar y Alagón. Los caudales registrados en los ríos de la cuenca alta en esta fecha fueron de 165 m<sup>3</sup>/seg. en el río Henares a su paso por Humanes, y 192 m<sup>3</sup>/seg. en Espinillos, el Jarama registró 428 m<sup>3</sup>/seg. en Algete y 918 m<sup>3</sup>/seg. en Mejorada. En Aranjuez, el Jarama en su desembocadura con el Tajo alcanzó 1070 m<sup>3</sup>/seg. Las poblaciones más afectadas de la cuenca alta fueron Paracuellos del Jarama, San Fernando de Henares, Rivas Vaciamadrid, y en general, las vegas de los ríos Tajuña y Henares.

**1990 → Septiembre:** fuertes precipitaciones en la zona de Aranjuez provocaron el desbordamiento del arroyo de Ontígola en la antigua presa llamada Mar de Ontígola y del arroyo Martín Román.

**1995 → 24 de Junio:** Una tormenta local provocó el desbordamiento del río Manzanares y varios de sus afluentes. En estas fechas se registró una lluvia de 80 l/m<sup>2</sup> en poco más de 2 horas. Las poblaciones más afectadas fueron Madrid capital y Pozuelo. A causa de las fuertes lluvias se desbordaron los arroyos Meaques de la Casa de Campo y el de Pozuelo con varias muertes. El

embalse de la Casa de Campo se aterró y vertió por coronación no llegando a romperse totalmente la presa. Se produjeron múltiples inundaciones de sótanos y se quedaron múltiples vehículos atrapados en la M-30 en las proximidades de la desembocadura del arroyo Meaques de la Casa Campo. Una de las anécdotas de este episodio fue la suspensión de la final de la copa del Rey de fútbol de ese año debido a las fuertes precipitaciones.

**1995 → Agosto:** una tormenta local provocó el desbordamiento de los arroyos Barbales, Aradóniga, Albares y de la Vega de Almoguera. Se vieron afectadas las poblaciones de Yebra y Almoguera. En Yebra murieron 10 personas.

**1995-96 →** Desde Diciembre de 1995 hasta Febrero de 1996 se produjeron avenidas generalizadas en toda la cuenca del Tajo, disminuyendo progresivamente hacia cabecera. La causa principal de estas avenidas fueron las grandes precipitaciones en toda la cuenca, cuyo efecto resultó en parte beneficioso al producirse el final de una época de sequía. En las cuencas que abastecen a Madrid la aportación fue de 780 hm<sup>3</sup>, sin contar las grandes precipitaciones en forma de nieve cuya entrada a los embalses se hizo con retraso a las grandes avenidas. Se consiguió que los daños fuesen mínimos gracias a los resguardos establecidos en los embalses de toda la cuenca. La mayoría de los daños que se produjeron lo fueron en infraestructuras de presas y de zonas regables y en edificaciones e instalaciones próximas a los cauces de diferentes ríos, Guadarrama, Jarama, Alberche, Tiétar y Alagón.

**1996-97 →** entre Diciembre de 1996 y Enero de 1997 volvieron a producirse avenidas en toda la cuenca del Tajo. Las causas fueron de nuevo las fuertes precipitaciones de lluvia y nieve. No se registraron tampoco numerosos daños, gracias a la regulación existente. La aportación en Diciembre y Enero en la cabecera del Tajo fue de 720 hm<sup>3</sup>, con caudales punta de entrada en Entrepeñas de hasta 500 m<sup>3</sup>/seg., que fueron laminados totalmente por el embalse. La aportación máxima del conjunto de los embalses de la cuenca alta fue de aproximadamente 830 m<sup>3</sup>/seg. La capacidad del cauce en Aranjuez no se rebasó, no llegando el caudal a los 200 m<sup>3</sup>/seg. El desagüe máximo entre los embalses de El Atazar, Pedrezuela y El Vado fue de 250 m<sup>3</sup>/seg. El embalse de Picadas no desaguó más de 350 m<sup>3</sup>/seg. El embalse de El Pardo produjo un desagüe medio de 97 m<sup>3</sup>/seg. durante el día 24 de Enero, con una capacidad máxima de la canalización del Manzanares de 300 m<sup>3</sup>/seg. El conjunto de las aportaciones al resto de embalses de la cuenca fue de 14.508 m<sup>3</sup>/s., pero a pesar del efecto laminador de los mismos se llegó a alcanzar un caudal máximo de desagüe en Portugal de 4300 m<sup>3</sup>/seg.

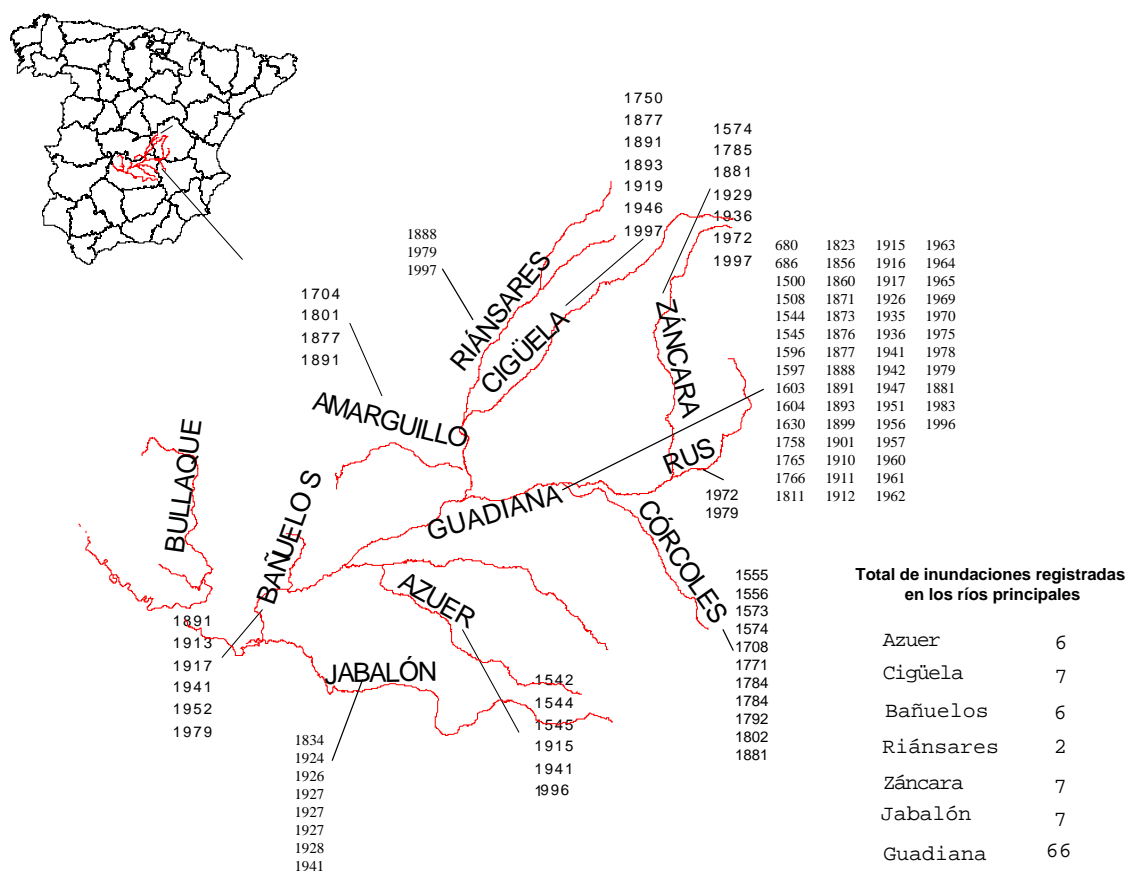
**1997 →** del 2 al 8 de Noviembre: se produjeron avenidas generalizadas en el río Tajo y afluentes. El caudal del Tajo en Alcántara alcanzó los 15878 m<sup>3</sup>/seg. Gracias a la laminación de los embalses se evitó la entrada de un caudal en Portugal que hubiese provocado grandes daños. E

estas fechas se produjeron grandes precipitaciones en toda la cuenca con intensidades máximas en la zona de Extremadura donde llegaron a registrarse 130 mm y 186 mm de lluvia en 8 horas.

**1997-98** → desde el 17 de Diciembre hasta los primeros días de 1998 se registraron avenidas en la cuenca del Tajo y afluentes, quedando afectadas múltiples poblaciones en toda la cuenca, aunque sin daños catastróficos. Se produjeron grandes precipitaciones en toda la cuenca con desbordamientos de los ríos Cañamares, Henares, Jarama, Guadarrama, Alberche, Tiétar, Alagón, Arrago y río Tajo. Se alcanzaron caudales de desagüe en Pálmaces de 97 m<sup>3</sup>/seg., y 500 m<sup>3</sup>/seg. en Guadalajara.

## INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA

Al igual que en la cuenca del Tajo, se han descrito de forma detallada e individualizada las inundaciones históricas registradas en la cuenca del alta del Guadiana, en este caso desde el año 686 hasta 1979. Aunque se describen dos episodios más recientes (en 1996 y 1997), el registro sistemático en esta cuenca se interrumpe en 1979. En la *Figura I.2* aparecen representados algunos de los eventos más significativos.



**Figura I.2** - Resumen de las principales inundaciones históricas en la cuenca alta del Guadiana

---

**686** → El primer registro de inundaciones históricas ocurridas en la cuenca del Guadiana data del año 686. De esta fecha solo se tiene información sobre la ocurrencia de inundaciones generalizadas en la cuenca, sin detallar los daños causados, poblaciones afectadas ni ríos implicados.

**1500** → El río Guadiana provocó una avenida a su paso por Argamasilla de Alba. Varias casas fueron reconstruidas por orden del Prior Diego de Toledo, segundo Duque de Alba.

**1508** → en Junio de este año las tormentas provocaron crecidas con desbordamientos y avenidas en la provincia de Ciudad Real. Hay dos referencias más a venidas en éste año, pero no hay especificaciones de daños ni del mes ni lugares en que se produjeron

**1542** → en este año el río Azuer sufrió una crecida importante y desbordó a su paso por la población de Daimiel (Ciudad Real), causando daños en las viviendas, la iglesia de esta población, que tuvo que ser derribada posteriormente a causa del deterioro que sufrió, y en el campo y tierras de cultivo.

**1544** → de nuevo el río Azuer provocó una inundación en la población de Daimiel.

**1545** → en este año se produjeron crecidas con desbordamientos en la cuenca del Guadiana. Uno de los ríos implicados fue el Azuer a su paso por Daimiel. Varias casas fueron derribadas y varias haciendas destrozadas en esta población. Hay dos referencias más sobre inundaciones en la cuenca del Guadiana en 1545 pero, al no existir más detalles sobre estos episodios, podrían corresponder a los ya descritos.

**1554** → se registraron avenidas en la cuenca del Guadiana. No hay más detalles de este episodio.

**1555** → el río Córcoles inundó a su paso por Socuéllamos

**1556** → crecida del río Córcoles en la población de Socuéllamos (Ciudad Real). Según los datos históricos, Socuéllamos se convirtió en una inmensa laguna. El estancamiento de las aguas provocó bastantes muertos entre los habitantes de Socuéllamos.

**1557** → En este año se registraron altas lluvias generalizadas por la Península Ibérica. La cuenca del Guadiana fue una de las que registraron inundaciones debido a estas fuertes lluvias.

**1573** → debido a las fuertes lluvias el río Córcoles inundó a su paso por Socuéllamos

---

**1574** → 19 de Agosto una “colosal” tormenta en la cuenca alta del Guadiana provocó la crecida del río Córcoles que desbordó a su paso por la población de Socuéllamos. Más de 40 casas fueron derribadas y, debido a la topografía de Socuéllamos situada en una planicie, quedó una extensa zona anegada por el agua. Aunque la crecida no fue violenta y el agua no alcanzó una gran altura, los daños derivados de los estancamientos prolongados tras la inundación sí fueron muy importantes.

**1574** → 15 de Agosto: crecida del río Záncara en la población de El Provencio (Cuenca). Esta crecida fue provocada por un temporal sobre la cabecera de la cuenca del Guadiana, que duró 15 días y que se produjo en el mes de Agosto, provocando el derrumbe de 30 casas y 4 muertos.

**1603 y 1604** → en estos dos años se registraron inundaciones generalizadas en la cuenca del Guadiana. No hay más detalles sobre estos episodios, salvo que las inundaciones de 1604 fueron en Enero.

**1618** → las altas lluvias provocaron inundaciones generalizadas en la Península, incluida la cuenca del Guadiana.

**1625, 1626, 1635, 1636, 1641, 1657** → las altas lluvias provocaron en estos años inundaciones generalizadas en la cuenca del Guadiana.

**1630** → Marzo: El arroyo Veguilla provocó daños en Valdepeñas (provincia de Ciudad Real). Sufrieron daños 60 casas y los campos de trigo. También se registraron daños producidos por el Guadiana en Badajoz

**1680** → Octubre: de nuevo el arroyo Veguilla registró una avenida a su paso por Valdepeñas. Este evento ocurrido en Octubre de 1680 destruyó en la población de Valdepeñas 60 casas, y estuvo acompañada por desbordamientos en los campos, provocando daños en los cultivos, la cosecha de trigo se vio especialmente mermada ese año.

**1703** → avenida en Consuegra. La iglesia de San Juan ( en el margen izquierdo del río) quedó destrozada y hay evidencias de que fue reconstruida posteriormente casi por completo, quedando durante bastante tiempo inutilizada para la realización de cultos.

**1708** → en Marzo de este año el río Córcoles sufrió una crecida a su paso por Socuéllamos, provocando daños en las casas, en las vegas y en las huertas. Este episodio no fue tan grave como el de 1556, no registrándose víctimas mortales ni epidemias derivadas del estancamiento de aguas

---

**1723** → En Septiembre de este año el arroyo Veguilla sufrió una nueva crecida a su paso por Valdepeñas, provocando la caída de tapias y cercas de las huertas, así como grandes daños en la agricultura

**1750** → en este año se registraron varias inundaciones en Villarrubia de los Ojos (provincia de Ciudad Real) causadas por el río Cigüela. No existen más detalles de daños producidos por estos episodios.

**1759** → En Junio de este año el arroyo Veguilla volvió a inundar la población de Valdepeñas, destruyendo varias casas y causando grandes daños en el campo. Murieron 13 personas

**1771** → avenida del río Córcoles a su paso por Socuéllamos. No se registran más noticias de daños

**1784** → debido a las fuertes lluvias el río Córcoles sufrió una crecida e inundó Socuéllamos en dos ocasiones ese año. Según una crónica de la época "...el río se salió de madre e inundó Socuéllamos por segunda vez ese año..." Las lluvias ese año fueron largas e intensas.

**1785** → avenida del río Záncara a su paso por El Provencio. Después de la avenida quedó el agua estancada en una laguna que permaneció hasta 1789, provocando una epidemia de cólera, causando 1500 víctimas

**1792** → el río Córcoles a su paso por Socuéllamos registró varias crecidas importantes este año y provocó una fuerte avenida.

**1801** → el 14 de Septiembre de este año el río Amarguillo, afluente del Cigüela, sufrió una avenida de gran magnitud a su paso por Villafranca de los Caballeros. Debido a los grandes daños causados a la población, el rey perdonó al Ayuntamiento "la mitad de los atrasos que debía al pósito y el total de las creces, y por un período de cuatro años las contribuciones reales"

**1802** → 12 de Mayo: en este año las lluvias torrenciales provocaron inundaciones generalizadas en la cuenca del Guadiana. "Las lluvias hacían correr las aguas intempestuosamente por rieras, ramblas, torrenteras y barrancos" (Font Tullot, 1988)

**1802** → El río Córcoles, a su paso por Socuéllamos, provocó una inundación de la que no ha quedado más constancia de los daños causados

---

**1803** → en Diciembre de este año las grandes lluvias contribuyeron a que el arroyo Pellejero sufriese una crecida a su paso por Almagro, donde destruyó varias casas y provocó enfermedades endémicas a causa del estancamiento de las aguas desbordadas

**1821** → el 24 de Diciembre de 1821 el arroyo Veguilla sufrió una nueva avenida a su paso por Valdepeñas, destruyendo 2 posadas, 23 casas y provocando daños en la agricultura

**1834** → el 25 de Junio de este año la rambla de Santa Cruz (afluente del río Jabalón) sufrió una avenida debido a una tormenta acompañada de fuertes lluvias. La población de Santa Cruz de Mudela se inundó y se produjo una epidemia de cólera al quedar estancadas las aguas por un tiempo. Este episodio también provocó importantes daños en las viviendas.

**1859** → el 25 de Diciembre el arroyo Veguilla inundó casi por completo la población de Valdepeñas

**1871** → el 8 y 9 de Febrero se produjeron crecidas con desbordamientos en las poblaciones de Argamasilla de Alba y Tomelloso

**1873** → el 1 de Abril volvieron a sufrir inundaciones Argamasilla de Alba y Tomelloso

**1877** → en Septiembre los ríos Guadiana, Cigüela, Amarguillo, Valdespino y Cambrán provocaron inundaciones en distintos puntos de la cuenca.

**1881** → el 15 de Enero las lluvias provocaron que los ríos Córcoles y Zánacara sufrieran una crecida y desbordaran a su paso por Socuéllamos. La vía de ferrocarril entre Mérida y Llerena se inundó. La población de Socuéllamos y sus tierras también quedaron inundadas.

**1888** → el 23 de Enero el río Guadiana desbordó a su paso por Tomelloso

**1888** → el 23 y 24 de Mayo de este año el río Riánsares y Bédija inundaron, a causa de las fuertes lluvias, las localidades de Horcajo, Valisca y Tarancón. Quedaron destruidos varios edificios y hubo un muerto en Tarancón

**1891** → 11 de Septiembre de este año se produjeron crecidas y avenidas generalizadas en el río Guadiana y en sus afluentes (Amarguillo, Cigüela, arroyo Valdespino, arroyo Cambrán), afectando a las poblaciones de Consuegra, Camuñas, Villafranca de los Caballeros, Tomelloso, Malagón, Fuente del Fresno, Villarrubia de los Ojos. El río Amarguillo alcanzó una altura de agua de 6-8m en Consuegra y 2m en Camuñas, destruyendo 600-700 casas, provocando la



---

muerte de animales y causando destrozos en tres puentes en Consuegra. En esta población, la estación de ferrocarril también sufrió daños. En Consuegra se registraron 900 muertos y en Camuñas 11 muertos. Las aguas alcanzaron una extensión de 900 m<sup>2</sup> en Consuegra. Este episodio se puede considerar como extremo teniendo en cuenta su magnitud y alcance y los daños y víctimas causados. En estos episodios intervinieron causas estructurales, además de las lluvias, que contribuyeron a agravar los efectos de las avenidas, como por ejemplo la obstaculización del desagüe del cauce debido a la cercanía de las edificaciones al río. El caudal máximo estimado en el Amarguillo a su paso por Consuegra, para un período de retorno de 100 años que es al que correspondería esta inundación de 1891, fue de 109 m<sup>3</sup>/seg. (*Potenciano et al, 1996; Potenciano, 1998*)

**1892** → el 8 de Marzo de este año el arroyo Veguilla inundó varias casas inmediatas a su cauce en la población de Valdepeñas. La magnitud de esta inundación no fue grande

**1893** → el 14 y 15 de Septiembre varios ríos y arroyos de la cuenca del Guadiana sufrieron crecidas debido a las fuertes lluvias, entre ellos el río Cigüela, el arroyo Rozalén y el propio Guadiana. Las poblaciones de Sahelices, Rozalén del Monte, Villarrubia de los Ojos, Navalpino y Fontanarejo, registraron daños a causa de los desbordamientos.

**1897** → el 12 de Septiembre, el arroyo Veguilla volvió a provocar una inundación en Valdepeñas. En esta ocasión se produjeron daños en cultivos, pérdida de animales, las calles de la ciudad quedaron convertidas en canales. Tres mujeres murieron al inundarse la parte baja de su casa situada en la calle de la Virgen. Las bodegas se inundaron y las tinajas fueron arrastradas por el agua. La magnitud de esta inundación fue mayor que la de 1892

**1899** → el 15 de Agosto y el 16 de Septiembre de este año el arroyo Veguilla provocó de nuevo inundaciones en Valdepeñas, en esta ocasión de escasa magnitud, provocando daños en algunas viviendas de la población

**1899** → el 2 de Octubre de este año hay noticias de inundaciones en la cuenca del Guadiana, pero sin especificaciones de las localidades afectadas ni de los daños producidos.

**1901** → en Mayo y Junio de este año el río Guadiana provocó inundaciones generalizadas en toda la cuenca

**1902** → el 11 de Marzo se registró una inundación en la cuenca del Guadiana. No se han encontrado detalles de las poblaciones afectadas ni de los ríos implicados.

---

**1912** → el 6 de Febrero se produjeron inundaciones en la cuenca del Guadiana. No hay más datos sobre daños y lugares afectados

**1913** → El río Bañuelos sufrió una crecida debido a una fuerte tormenta. Quedó afectado el canal de la población de Malagón (Ciudad Real) que no tenía contruido el vertedero regulador, saltando el agua por encima de las dos compuertas del canal que desaguan al río y que estaban cerradas en aquel momento, el canal quedó roto en su Km. 1,400. En la población de Malagón se registró un caudal de 90 m<sup>3</sup>/seg

**1915** → el 30 de Mayo de este año se dieron avenidas generalizadas en la cuenca del Guadiana, viéndose implicados entre otros, el río Azuer y el embalse de Cíjara. En el río Guadiana se registró un caudal de 2300 m<sup>3</sup>/seg y en el Azuer un caudal de 3,9m<sup>3</sup>/seg. "... Las aguas cubrieron los estribos del puente en la carretera Herrera del Duque-Navahermosa-Logrosán..."

**1916** → en Diciembre se dieron avenidas y crecidas generalizadas en la cuenca del Guadiana. El embalse del Cíjara y Badajoz se vieron afectados y el río Guadiana registró un caudal de 2200 m<sup>3</sup>/seg. Las huertas y las riberas quedaron anegadas en Badajoz.

**1917** → de los días 14 al 16 de Febrero de este año el río Bañuelos, la rambla de Castelar y el río Guadiana sufrieron crecidas, debido a fuertes tormentas, desbordando en varias poblaciones, entre ellas Tomelloso, Torrenueva, Malagón y Badajoz. En Malagón el río Bañuelos registró un caudal de 98m<sup>3</sup>/seg, alcanzando el agua una altura de 0,72 m (no se especifica en qué punto de la población). Los daños de estos episodios alcanzaron a la agricultura, las zonas de ribera, y las poblaciones.

**1917** → el 9 de Marzo de este año las fuertes tormentas provocaron que el río Guadiana desbordase a su paso por Pozuelos de Calatrava, el puente de esta población sufrió desperfectos. Quedaron cortadas las comunicaciones y un pastor quedó aislado, subido a un árbol, durante 24 horas.

**1919** → el Febrero, el río Cigüela desbordó. La población de Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real) también se vio afectada por las lluvias. El agua desbordada cubrió una franja de 16 Km. de largo por 800-900 m. de ancho, unas 1500 Ha de área inundada que, dadas las especiales características de la vega del Cigüela, el agua quedó estancada en las zonas más llanas durante bastante tiempo

**1924** → el 31 de Marzo y el 8 de Abril varios ríos y arroyos de la cuenca del Guadiana (Jabalón, Ojailén, Matachel) sufrieron avenidas, afectando a varias poblaciones de Ciudad Real

(Puertollano, Granátula de Calatrava) y Badajoz (Alange). El río Jabalón alcanzó en Granátula de Calatrava un caudal de 30 m<sup>3</sup>/seg, y el Alange se registraron 162m<sup>3</sup>/seg. Se calcularon 5.000.000 m<sup>3</sup> de agua embalsada en los alrededores de Puertollano. También se produjo el encharcamiento zonas llanas. La magnitud de estos episodios fue muy alta.

**1926** → se registró una avenida en la cuenca del Guadiana. No hay más detalles de este episodio.

**1926** → el 3 y 4 de Febrero el río Jabalón sufrió una avenida que provocó daños en las vegas, los cultivos y cosechas, se registró un caudal de 30,2 m<sup>3</sup>/seg. En estas mismas fechas, en otros puntos de la cuenca del Guadiana, por ejemplo en Badajoz, también se registraron avenidas.

**1926** → entre los días 18 y 21 de Noviembre el río Jabalón y otros afluentes del Guadiana sufrieron crecidas afectando a las poblaciones de Portillo de Cíjara y Aragonés. Se registraron caudales de 840 m<sup>3</sup>/seg en Portillo de Cíjara, y 30m<sup>3</sup>/seg en la estación de Aragonés. El limnógrafo de la estación de aforo de Portillo de Cíjara registró una altura de agua de 5,6 m.

**1927** → el 18 de Enero el río Jabalón provocó una avenida en la que se registró un caudal de 30,2 m<sup>3</sup>/seg en la estación de aforos de Aragonés, prácticamente el mismo caudal que en Noviembre de 1924 y 1926

**1927** → en Diciembre el río Jabalón sufrió una avenida a su paso por Granátula de Calatrava, registrando un caudal de aproximadamente 30 m<sup>3</sup>/seg

**1928** → el río Jabalón volvió a inundar en Enero de este año, registrando un caudal similar al de los meses de Enero y Diciembre del año anterior.

**1928** → el 26 de Noviembre de este año, el Zánacara provocó una inundación en El Provencio (Cuenca), registrándose un caudal de 18,5 m<sup>3</sup>/seg en esta población. También la parte de cabecera de la cuenca del Zánacara sufrió los efectos de las inundaciones en este año

**1935** → el 24 de Diciembre las tormentas provocaron en la cuenca del Guadiana episodios generalizados de crecidas y desbordamientos en las provincias de Ciudad Real y Badajoz . El barrio de Las Moreras en Badajoz quedó aislado y se destruyeron 17 casas. Varios cortijos y campos en Ciudad Real se vieron afectados.

**1936** → el 22 de Febrero varios ríos de la cuenca del Guadiana desbordaron debido a las fuertes lluvias, entre ellos el propio río Guadiana, el río Olivenza y el río Zánacara. Las poblaciones

afectadas fueron Badajoz, Olivenza y Carrasposa del Haro. Se aforaron caudales de 2300 m<sup>3</sup>/seg en Olivenza y 17 m<sup>3</sup>/seg en Carrasposa del Haro. Los campos sufrieron grandes daños.

**1936** → el 2 de Enero el río Bullaque sufrió en Enero de este año una avenida a su paso por Torre de Abraham, registrando un caudal de 112,6 m<sup>3</sup>/seg

**1941** → el 24 de Enero de este años, las fuertes tormentas provocaron que varios ríos de la cuenca del Guadiana sufrieran crecidas y desbordamientos, entre ellos el propio río Guadiana, el Rivillas, el Gévora, el río Bañuelo, el Jabalón, el Azuer y el río Tinto. Algunas de las poblaciones afectadas fueron Badajoz, Mérida, Zarza Capilla, Robledo, Porzuna, Fernancaballero, Membrilla, Manzanares, Puerto de Moguer, San Juan del Puerto y Cíjara. Algunos de los caudales aforados en estos episodios fueron de 2100 m<sup>3</sup>/seg en Cíjara y 21,4 m<sup>3</sup>/seg en el Azuer, y las alturas de agua registradas de 7,5 m en Badajoz y 1,20 m por encima de la carretera en Mérida. Los campos, las poblaciones, las casas, y las obras hidráulicas (como la presa de Cíjara) sufrieron daños. Quedó un gran área encharcada. Las compuertas del pantano de Gasset tuvieron que abrirse para aliviar agua.

**1941** → En Febrero el río Guadiana provocó una avenida a su paso por Cíjara y Puerto Peña, registrando caudales de 2200 m<sup>3</sup>/seg en Cíjara y 1800 m<sup>3</sup>/seg en Puerto Peña.

**1946** → En Marzo de este año el río Cigüela desbordó, causando daños en la carretera entre Ciudad Real y Puerto Lápice, cerca de Arenas de San Juan, y en el puente sobre el río Cigüela en la carretera Daimiel-Villarrubia de los Ojos. Se produjeron encharcamientos en zonas próximas al cauce que hicieron inservible la tierra de cultivo y causó fiebres palúdicas. No se registran más daños en las poblaciones.

**1947** → el 15 de Febrero y el 9 de Marzo, los ríos Guadiana, Gévora, Troya, Rivillas, Guadarranque y otros afluentes del Guadiana, inundaron las poblaciones de Montijo, Villanueva de la Serena, Badajoz, Roca de la Sierra, Argamasilla de Alba, Tomelloso, Peñarroya, Villanueva del Fresno, Cabeza del Buey, Almadén, Fernancaballero, Gramel y Sanlúcar. Se registraron caudales de 8000 m<sup>3</sup>/seg en Villanueva de la Serena, 20 cm más que la avenida extraordinaria estimada para la construcción del aliviadero de la presa. El agua alcanzó 4m en Villanueva y 6,5m en Badajoz. Las vías de ferrocarril, las carreteras, las calles, 10-15 casas y los campos, sufrieron daños. Murió un niño. La anchura del río en la presa de Montijo pasó de 400 m a 1500 m durante la crecida. Se produjo el “reventón” de la laguna del Rey. Se inundaron aproximadamente 19 Km<sup>2</sup> en la provincia de Ciudad Real. Estos episodios fueron de una gran magnitud

---

**1947** → del 2 al 4 de Marzo el Guadiana volvió a provocar inundaciones, registrando de nuevo un caudal de 8000 m<sup>3</sup>/seg y una altura de agua de 65m.

**1952** → el 23 de Enero las fuertes precipitaciones en forma de agua y nieve provocaron que el río Bañuelo creciese y desbordase, provocando una subida de la lámina de agua 33 cm por encima del calado máximo de la sección del canal de derivación Bañuelos-Pantano Gasset. Las tierras de labor sufrieron daños al quedar anegadas.

**1960** → en Enero y Febrero se produjeron inundaciones generalizadas en toda la cuenca del Guadiana.

**1961** → del 22 al 26 de Diciembre se produjeron importantes inundaciones en la cuenca del Guadiana.

**1961** → en invierno el río Bullaque registró un caudal de más de 100 m<sup>3</sup>/seg en la estación de aforos de Luciana

**1962** → en Febrero el río Bullaque sufrió una avenida y desbordó a su paso por la estación de aforos de Luciana. Se registró un caudal de 180 m<sup>3</sup>/seg. No se registraron más daños.

**1962** → en Noviembre de este año el río Bullaque desbordó por segunda vez a su paso por la estación de aforos de Luciana.

**1970** → varios ríos de la cuenca del Guadiana provocaron desbordamientos

**1972** → el 1 y 2 de Noviembre el río Záncara, provocó daños en las poblaciones de El Provencio y San Clemente, a causa de una importante avenida que destruyó tapias, viviendas, hundió un puente y fue necesario evacuar estas poblaciones.

**1979** → el 1 de Julio los arroyos Veguilla y Jarosa registraron una avenida a su paso por Valdepeñas. El caudal máximo descargado por los arroyos fue de 150 m<sup>3</sup>/seg, el agua alcanzó una altura de 2,30 m. Se destruyeron casas, vías de comunicación, se produjeron evacuaciones, hubo 21 muertos y 18 heridos. La precipitación caída en 3-4 horas fue de 86 mm con una intensidad 50 mm/h. La mayor incidencia de la lluvia fue sobre un área de 20 Km<sup>2</sup> en la parte baja de la cuenca. El agua fue retenida en el vaso de un colector cerrado hasta alcanzar los 2 m de altura, esto retuvo el agua favoreciendo la posterior onda de avenida al romper el colector. La confluencia del agua de los arroyos, unido al agua de escorrentía de los cauces cercanos y las características físicas de la cuenca, favorecen las inundaciones en esta zona.

---

**1979** → del 12 al 18 de Septiembre, y debido a las fuertes tormentas, los ríos Rus y Riánsares sufrieron avenidas a su paso por las localidades de El Cañavete y Corral de Almaguer. Se registró un caudal de más de 25 m<sup>3</sup>/seg. Se produjo el corte de la carretera Honrrubia-San Clemente. Quedaron señales de altura del agua en las casas de El Cañavete.

**1979** → el 26 de Enero, debido a las fuertes lluvias, los ríos Guadiana, Zújar, Bullaque y Bañuelos provocaron inundaciones a su paso por las poblaciones Los Cortijos, Malagón, Fernancaballero, Piedrabuena, Luciana y Lepe. Las aguas alcanzaron más de un metro en las carreteras. Los puentes y las calles quedaron inundadas, la agricultura y las casas también sufrieron daños. En Lepe se unieron la lluvia y la marea. El canal de alimentación al pantano de Gasset quedó cortado por obras, lo que acrecentó los efectos de la inundación en Malagón y Fernancaballero.

**1996** → el río Azuer creció considerablemente en la confluencia con el río Guadiana, en el término de Daimiel (Ciudad Real), a consecuencia de esta crecida se produjeron en la zona desprendimientos y colapsos importantes en los cauces y en la llanura de inundación, provocando daños en las tierras de cultivo.

**1997** → en Enero los ríos Riánsares, Cigüela y Záncara sufrieron crecidas y desbordamientos. La llanura de inundación entre el cauce del Záncara y el Cigüela, se mantuvo encharcada durante largo tiempo, en el término de Quintanar de la Orden y alrededores los encharcamientos duraron al menos dos meses.

## ANEXO II

### CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL E INUNDACIONES

Spearman Rank Correlations

	PrecTotal Madrid	PrecTotal Alicante
PrecTotal Madrid	-0.0878 ( 93) 0.3996	
PrecTotal Alicante	-0.0878 ( 93) 0.3996	
PrecTotalBadajoz	0.5853 ( 93) 0.0000	-0.0947 ( 93) 0.3635
PrecTotal CiudadReal	0.4982 ( 93) 0.0000	-0.1097 ( 93) 0.2926
PrecTotal Valencia	0.2795 ( 93) 0.0074	0.3387 ( 93) 0.0012
Inund Tajo	0.3141 ( 93) 0.0026	-0.1731 ( 93) 0.0968
Inund Guadiana	0.3003 ( 93) 0.0040	-0.1919 ( 93) 0.0657
Inund Jucar	0.0336 ( 93) 0.7474	0.1795 ( 93) 0.0852
Inund Segura	-0.1215 ( 93) 0.2439	0.0459 ( 93) 0.6596
	PrecTotalBadajoz	PrecTotal CiudadReal
PrecTotal Madrid	0.5853 ( 93) 0.0000	0.4982 ( 93) 0.0000
PrecTotal Alicante	-0.0947 ( 93) 0.3635	-0.1097 ( 93) 0.2926
PrecTotalBadajoz		0.3188 ( 93) 0.0022
PrecTotal CiudadReal	0.3188 ( 93) 0.0022	
PrecTotal Valencia	0.1459 ( 93) 0.1616	0.2244 ( 93) 0.0314
Inund Tajo	0.2971 ( 93) 0.0044	0.3494 ( 93) 0.0008

	PrecTotalBadajoz	PrecTotal CiudadReal
Inund Guadiana	0.2894 ( 93) 0.0055	0.2772 ( 93) 0.0078
Inund Jucar	-0.0245 ( 93) 0.8144	0.2392 ( 93) 0.0217
Inund Segura	-0.1968 ( 93) 0.0590	0.0997 ( 93) 0.3387
	PrecTotal Valencia	Inund Tajo
PrecTotal Madrid	0.2795 ( 93) 0.0074	0.3141 ( 93) 0.0026
PrecTotal Alicante	0.3387 ( 93) 0.0012	-0.1731 ( 93) 0.0968
	PrecTotal Valencia	Inund Tajo
PrecTotalBadajoz	0.1459 ( 93) 0.1616	0.2971 ( 93) 0.0044
PrecTotal CiudadReal	0.2244 ( 93) 0.0314	0.3494 ( 93) 0.0008
PrecTotal Valencia		-0.0110 ( 93) 0.9158
Inund Tajo	-0.0110 ( 93) 0.9158	
Inund Guadiana	-0.0960 ( 93) 0.3573	0.3411 ( 93) 0.0011
Inund Jucar	0.2290 ( 93) 0.0281	-0.0408 ( 93) 0.6952
Inund Segura	0.0477 ( 93) 0.6476	-0.0409 ( 93) 0.6951
	Inund Guadiana	Inund Jucar
PrecTotal Madrid	0.3003 ( 93) 0.0040	0.0336 ( 93) 0.7474
PrecTotal Alicante	-0.1919 ( 93) 0.0657	0.1795 ( 93) 0.0852
PrecTotalBadajoz	0.2894 ( 93) 0.0055	-0.0245 ( 93) 0.8144
PrecTotal CiudadReal	0.2772 ( 93) 0.0078	0.2392 ( 93) 0.0217



	Inund Guadiana	Inund Jucar
PrecTotal Valencia	-0.0960 ( 93) 0.3573	0.2290 ( 93) 0.0281
Inund Tajo	0.3411 ( 93) 0.0011	-0.0408 ( 93) 0.6952
Inund Guadiana		0.0317 ( 93) 0.7614
Inund Jucar	0.0317 ( 93) 0.7614	
Inund Segura	-0.1847 ( 93) 0.0765	0.1829 ( 93) 0.0794
	Inund Segura	
PrecTotal Madrid	-0.1215 ( 93) 0.2439	
PrecTotal Alicante	0.0459 ( 93) 0.6596	
PrecTotalBadajoz	-0.1968 ( 93) 0.0590	
PrecTotal CiudadReal	0.0997 ( 93) 0.3387	
PrecTotal Valencia	0.0477 ( 93) 0.6476	
Inund Tajo	-0.0409 ( 93) 0.6951	
	Inund Segura	
Inund Guadiana	-0.1847 ( 93) 0.0765	
Inund Jucar	0.1829 ( 93) 0.0794	
Inund Segura		
	PrecTotal Toledo	PrecTotal Albacete
PrecTotal Toledo		0.4610 ( 47) 0.0018
PrecTotal Albacete	0.4610 ( 47) 0.0018	

	PrecTotal Toledo	PrecTotal Albacete
Inund Tajo	0.4149 ( 47) 0.0049	-0.0545 ( 47) 0.7115
Inund Guadiana	0.3126 ( 47) 0.0340	0.2077 ( 47) 0.1589
Inund Jucar	0.1075 ( 47) 0.4660	0.2399 ( 47) 0.1037
Inund Segura	-0.1963 ( 47) 0.1832	-0.2354 ( 47) 0.1104
	Inund Tajo	Inund Guadiana
PrecTotal Toledo	0.4149 ( 47) 0.0049	0.3126 ( 47) 0.0340
PrecTotal Albacete	-0.0545 ( 47) 0.7115	0.2077 ( 47) 0.1589
Inund Tajo		0.3708 ( 47) 0.0119
Inund Guadiana	0.3708 ( 47) 0.0119	
	Inund Tajo	Inund Guadiana
Inund Jucar	0.1475 ( 47) 0.3172	0.1682 ( 47) 0.2539
Inund Segura	-0.0373 ( 47) 0.8003	-0.1612 ( 47) 0.2743
	Inund Jucar	Inund Segura
PrecTotal Toledo	0.1075 ( 47) 0.4660	-0.1963 ( 47) 0.1832
PrecTotal Albacete	0.2399 ( 47) 0.1037	-0.2354 ( 47) 0.1104
Inund Tajo	0.1475 ( 47) 0.3172	-0.0373 ( 47) 0.8003
Inund Guadiana	0.1682 ( 47) 0.2539	-0.1612 ( 47) 0.2743
Inund Jucar		0.0462 ( 47) 0.7540
Inund Segura	0.0462 ( 47) 0.7540	

PrecTotal Murcia		Pinv Murcia
-----		
PrecTotal Murcia		0.3727 ( 73) 0.0016
Pinv Murcia	0.3727 ( 73) 0.0016	
PrecTotal Murcia		Pinv Murcia
-----		
Poto Murcia	0.6313 ( 73) 0.0000	-0.0053 ( 73) 0.9638
Inund Tajo	-0.0153 ( 73) 0.2847	-0.0252 ( 73) 0.8308
Inund Guadiana	-0.1261 ( 73) 0.2847	-0.1462 ( 73) 0.2146
Inund Jucar	0.3365 ( 73) 0.0043	0.1459 ( 73) 0.2159
Inund Segura	0.3888 ( 73) 0.0010	0.0015 ( 73) 0.9900
Poto Murcia		Inund Tajo
-----		
PrecTotal Murcia	0.6313 ( 73) 0.0000	-0.0153 ( 73) 0.8969
Pinv Murcia	-0.0053 ( 73) 0.9638	-0.0252 ( 73) 0.8308
Poto Murcia		0.0104 ( 73) 0.9294
Inund Tajo	0.0104 ( 73) 0.9294	
Poto Murcia		Inund Tajo
-----		
Inund Guadiana	-0.0281 ( 73) 0.8118	0.4242 ( 73) 0.0003
Inund Jucar	0.2806 ( 73) 0.0152	-0.1248 ( 73) 0.2895
Inund Segura	0.3860 ( 73) 0.0011	-0.0431 ( 73) 0.7144

## CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIONES DE OTOÑO E INVIERNO E INUNDACIONES

	Pinv Alicante	Poto Alicante
Pinv Alicante		0.0966 ( 82) 0.3848
Poto Alicante	0.0966 ( 82) 0.3848	
Pinv Albacete	0.2797 ( 82) 0.0118	-0.0208 ( 82) 0.8513
Poto Albacete	0.0960 ( 82) 0.3878	0.4572 ( 82) 0.0000
Pinv Badajoz	0.0934 ( 82) 0.4007	0.1381 ( 82) 0.2138
Poto Badajoz	0.0085 ( 82) 0.9392	0.1691 ( 82) 0.1280
Pinv CReal	0.0425 ( 82) 0.7019	0.0757 ( 82) 0.4956
Poto CReal	-0.0622 ( 82) 0.5758	0.2471 ( 82) 0.0261
Pinv Madrid	0.0986 ( 82) 0.3748	0.1348 ( 82) 0.2251
Poto Madrid	0.0028 ( 82) 0.9802	0.1401 ( 82) 0.2073
Pinv Valencia	0.4898 ( 82) 0.0000	-0.0966 ( 82) 0.3846
	Pinv Alicante	Poto Alicante
Poto Valencia	0.2066 ( 82) 0.0630	0.5382 ( 82) 0.0000
Inund Tajo	-0.1190 ( 82) 0.2843	-0.1033 ( 82) 0.3526
Inund Guadiana	-0.1614 ( 82) 0.1463	-0.1143 ( 82) 0.3037
Inund Jucar	0.0618 ( 82) 0.5783	0.2897 ( 82) 0.0091
Inund Segura	-0.1255 ( 82) 0.2588	0.0915 ( 82) 0.4105

	Pinv Albacete	Poto Albacete
Pinv Alicante	0.2797 ( 82) 0.0118	0.0960 ( 82) 0.3878
Poto Alicante	-0.0208 ( 82) 0.8513	0.4572 ( 82) 0.0000
Pinv Albacete		0.1210 ( 82) 0.2763
Poto Albacete	0.1210 ( 82) 0.2763	
Pinv Badajoz	0.5816 ( 82) 0.0000	0.0889 ( 82) 0.4236
Poto Badajoz	0.0654 ( 82) 0.5559	0.4295 ( 82) 0.0001
	Pinv Albacete	Poto Albacete
Pinv CReal	0.5139 ( 82) 0.0000	0.0902 ( 82) 0.4171
Poto CReal	0.0159 ( 82) 0.8860	0.5586 ( 82) 0.0000
Pinv Madrid	0.5371 ( 82) 0.0000	0.0922 ( 82) 0.4067
Poto Madrid	0.0940 ( 82) 0.3974	0.4906 ( 82) 0.0000
Pinv Valencia	0.5466 ( 82) 0.0000	0.1066 ( 82) 0.3372
Poto Valencia	0.1852 ( 82) 0.0956	0.5281 ( 82) 0.0000
Inund Tajo	0.1664 ( 82) 0.1342	-0.0252 ( 82) 0.8204
Inund Guadiana	0.1545 ( 82) 0.1642	-0.0037 ( 82) 0.9735
Inund Jucar	-0.0412 ( 82) 0.7109	0.1384 ( 82) 0.2130
Inund Segura	-0.0189 ( 82) 0.8652	0.1637 ( 82) 0.1407

	Pinv Badajoz	Poto Badajoz
Pinv Alicante	0.0934 ( 82) 0.4007	0.0085 ( 82) 0.9392
Poto Alicante	0.1381 ( 82) 0.2138	0.1691 ( 82) 0.1280
Pinv Albacete	0.5816 ( 82) 0.0000	0.0654 ( 82) 0.5559
Poto Albacete	0.0889 ( 82) 0.4236	0.4295 ( 82) 0.0001
Pinv Badajoz		0.1721 ( 82) 0.1215
Poto Badajoz	0.1721 ( 82) 0.1215	
Pinv CReal	0.7267 ( 82) 0.0000	0.0069 ( 82) 0.9506
Poto CReal	0.0831 ( 82) 0.4544	0.6264 ( 82) 0.0000
Pinv Madrid	0.8046 ( 82) 0.0000	0.0489 ( 82) 0.6597
Poto Madrid	0.1054 ( 82) 0.3430	0.6757 ( 82) 0.0000
Pinv Valencia	0.1597 ( 82) 0.1507	0.0902 ( 82) 0.4170
Poto Valencia	0.2372 ( 82) 0.0328	0.2822 ( 82) 0.0111
	Pinv Badajoz	Poto Badajoz
Inund Tajo	0.3325 ( 82) 0.0028	0.1066 ( 82) 0.3375
Inund Guadiana	0.3015 ( 82) 0.0067	0.2196 ( 82) 0.0481
Inund Jucar	-0.0773 ( 82) 0.4865	0.0457 ( 82) 0.6807
Inund Segura	-0.0277 ( 82) 0.8029	0.0059 ( 82) 0.9580

	Pinv CReal	Poto CReal
Pinv Alicante	0.0425 ( 82) 0.7019	-0.0622 ( 82) 0.5758
Poto Alicante	0.0757 ( 82) 0.4956	0.2471 ( 82) 0.0261
Pinv Albacete	0.5139 ( 82) 0.0000	0.0159 ( 82) 0.8860
Poto Albacete	0.0902 ( 82) 0.4171	0.5586 ( 82) 0.0000
Pinv Badajoz	0.7267 ( 82) 0.0000	0.0831 ( 82) 0.4544
Poto Badajoz	0.0069 ( 82) 0.9506	0.6264 ( 82) 0.0000
	Pinv CReal	Poto CReal
Pinv CReal		0.1118 ( 82) 0.3145
Poto CReal	0.1118 ( 82) 0.3145	
Pinv Madrid	0.8550 ( 82) 0.0000	0.0824 ( 82) 0.4581
Poto Madrid	0.0548 ( 82) 0.6220	0.6963 ( 82) 0.0000
Pinv Valencia	0.0765 ( 82) 0.4910	0.0002 ( 82) 0.9984
Poto Valencia	0.2385 ( 82) 0.0318	0.2608 ( 82) 0.0189
Inund Tajo	0.4561 ( 82) 0.0000	0.0505 ( 82) 0.6496
Inund Guadiana	0.3801 ( 82) 0.0006	0.0896 ( 82) 0.4202
Inund Jucar	0.0073 ( 82) 0.9479	0.1177 ( 82) 0.2895
Inund Segura	0.1098 ( 82) 0.3230	0.2326 ( 82) 0.0363

	Pinv Madrid	Poto Madrid
Pinv Alicante	0.0986 ( 82) 0.3748	0.0028 ( 82) 0.9802
Poto Alicante	0.1348 ( 82) 0.2251	0.1401 ( 82) 0.2073
Pinv Albacete	0.5371 ( 82) 0.0000	0.0940 ( 82) 0.3974
Poto Albacete	0.0922 ( 82) 0.4067	0.4906 ( 82) 0.0000
Pinv Badajoz	0.8046 ( 82) 0.0000	0.1054 ( 82) 0.3430
Poto Badajoz	0.0489 ( 82) 0.6597	0.6757 ( 82) 0.0000
Pinv CReal	0.8550 ( 82) 0.0000	0.0548 ( 82) 0.6220
Poto CReal	0.0824 ( 82) 0.4581	0.6963 ( 82) 0.0000
Pinv Madrid		0.0782 ( 82) 0.4816
Poto Madrid	0.0782 ( 82) 0.4816	
Pinv Valencia	0.1536 ( 82) 0.1669	0.0248 ( 82) 0.8234
Poto Valencia	0.2061 ( 82) 0.0636	0.1897 ( 82) 0.0877
	Pinv Madrid	Poto Madrid
Inund Tajo	0.4114 ( 82) 0.0002	0.0541 ( 82) 0.6261
Inund Guadiana	0.3226 ( 82) 0.0037	0.1504 ( 82) 0.1759
Inund Jucar	-0.0479 ( 82) 0.6662	0.0408 ( 82) 0.7138
Inund Segura	0.0720 ( 82) 0.5168	0.0519 ( 82) 0.6402



	Pinv Valencia	Poto Valencia
Pinv Alicante	0.4898 ( 82) 0.0000	0.2066 ( 82) 0.0630
Poto Alicante	-0.0966 ( 82) 0.3846	0.5382 ( 82) 0.0000
Pinv Albacete	0.5466 ( 82) 0.0000	0.1852 ( 82) 0.0956
Poto Albacete	0.1066 ( 82) 0.3372	0.5281 ( 82) 0.0000
Pinv Badajoz	0.1597 ( 82) 0.1507	0.2372 ( 82) 0.0328
Poto Badajoz	0.0902 ( 82) 0.4170	0.2822 ( 82) 0.0111
Pinv CReal	0.0765 ( 82) 0.4910	0.2385 ( 82) 0.0318
	Pinv Valencia	Poto Valencia
Poto CReal	0.0002 ( 82) 0.9984	0.2608 ( 82) 0.0189
Pinv Madrid	0.1536 ( 82) 0.1669	0.2061 ( 82) 0.0636
Poto Madrid	0.0248 ( 82) 0.8234	0.1897 ( 82) 0.0877
Pinv Valencia		0.1177 ( 82) 0.2896
Poto Valencia	0.1177 ( 82) 0.2896	
Inund Tajo	-0.1054 ( 82) 0.3429	0.0878 ( 82) 0.4293
Inund Guadiana	-0.1158 ( 82) 0.2974	-0.0444 ( 82) 0.6896
Inund Jucar	0.0078 ( 82) 0.9442	0.3440 ( 82) 0.0020
Inund Segura	0.0007 ( 82) 0.9951	0.0888 ( 82) 0.4244

	Inund Tajo	Inund Guadiana
Pinv Alicante	-0.1190 ( 82) 0.2843	-0.1614 ( 82) 0.1463
Poto Alicante	-0.1033 ( 82) 0.3526	-0.1143 ( 82) 0.3037
	Inund Tajo	Inund Guadiana
Pinv Albacete	0.1664 ( 82) 0.1342	0.1545 ( 82) 0.1642
Poto Albacete	-0.0252 ( 82) 0.8204	-0.0037 ( 82) 0.9735
Pinv Badajoz	0.3325 ( 82) 0.0028	0.3015 ( 82) 0.0067
Poto Badajoz	0.1066 ( 82) 0.3375	0.2196 ( 82) 0.0481
Pinv CReal	0.4561 ( 82) 0.0000	0.3801 ( 82) 0.0006
Poto CReal	0.0505 ( 82) 0.6496	0.0896 ( 82) 0.4202
Pinv Madrid	0.4114 ( 82) 0.0002	0.3226 ( 82) 0.0037
Poto Madrid	0.0541 ( 82) 0.6261	0.1504 ( 82) 0.1759
Pinv Valencia	-0.1054 ( 82) 0.3429	-0.1158 ( 82) 0.2974
Poto Valencia	0.0878 ( 82) 0.4293	-0.0444 ( 82) 0.6896
	Inund Tajo	Inund Guadiana
Inund Tajo		0.4384 ( 82) 0.0001
Inund Guadiana	0.4384 ( 82) 0.0001	
Inund Jucar	-0.2072 ( 82) 0.0622	0.0557 ( 82) 0.6163
Inund Segura	-0.1293 ( 82) 0.2446	-0.1069 ( 82) 0.3361
	Inund Jucar	Inund Segura

-----		
Pinv Alicante	0.0618	-0.1255
	( 82)	( 82)
	0.5783	0.2588
Poto Alicante	0.2897	0.0915
	( 82)	( 82)
	0.0091	0.4105
Pinv Albacete	-0.0412	-0.0189
	( 82)	( 82)
	0.7109	0.8652
Poto Albacete	0.1384	0.1637
	( 82)	( 82)
	0.2130	0.1407
Pinv Badajoz	-0.0773	-0.0277
	( 82)	( 82)
	0.4865	0.8029
Poto Badajoz	0.0457	0.0059
	( 82)	( 82)
	0.6807	0.9580
	Inund Jucar	Inund Segura
-----		
Pinv CReal	0.0073	0.1098
	( 82)	( 82)
	0.9479	0.3230
Poto CReal	0.1177	0.2326
	( 82)	( 82)
	0.2895	0.0363
Pinv Madrid	-0.0479	0.0720
	( 82)	( 82)
	0.6662	0.5168
Poto Madrid	0.0408	0.0519
	( 82)	( 82)
	0.7138	0.6402
Pinv Valencia	0.0078	0.0007
	( 82)	( 82)
	0.9442	0.9951
Poto Valencia	0.3440	0.0888
	( 82)	( 82)
	0.0020	0.4244
Inund Tajo	-0.2072	-0.1293
	( 82)	( 82)
	0.0622	0.2446
Inund Guadiana	0.0557	-0.1069
	( 82)	( 82)
	0.6163	0.3361
Inund Jucar		0.0874
		( 82)
		0.4313
Inund Segura	0.0874	
	( 82)	
	0.4313	
-----		

## ANEXO III

## ANÁLISIS DE LA VARIANZA-ANOVA

## Variables analizadas: inundaciones Tajo y precipitación anual de Toledo

ANOVA Table for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	57132.3	2	33566.2	5.27	0.0040
Within groups	235397.0	44	5349.93		
Total (Corr.)	302529.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	21	334.295	X
1	17	409.847	X
>1	9	411.178	X
Contrast	Difference		
		+/-	Limits
0 - 1	*-75.5518	48.0936	
0 - >1	*-75.8825	58.7299	
1 - >1	-1.33072	60.7673	

\* denotes a statistically significant difference.

## Variables analizadas: inundaciones Tajo y precipitación anual de Madrid

ANOVA Table for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	98494.6	2	49247.3	5.30	0.0066
Within groups	863981.0	93	9290.11		
Total (Corr.)	962475.0	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	50	409.36	X
1	29	436.1	X
>1	17	497.294	X
Contrast	Difference		
		+/-	Limits
0 - 1	-26.74	44.6763	
0 - >1	*-87.9341	53.7372	
1 - >1	*-61.1941	58.4659	

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo y precipitación anual de Badajoz

ANOVA Table for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	131461.0	2	65730.7	3.20	0.0454
Within groups	1.91216E6	93	20560.9		
Total (Corr.)	2.04362E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	50	457.971	X
1	29	497.729	XX
>1	17	558.141	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-39.7582	66.4641
0 - >1	*-100.17	79.9439
1 - >1	-60.4122	86.9787

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación anual de Ciudad Real

ANOVA Table for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	298891.0	2	149445.0	6.22	0.0030
Within groups	2.16374E6	90	24041.6		
Total (Corr.)	2.46264E6	92			

Multiple Range Tests for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	49	328.612	X
1	27	400.359	XX
>1	17	476.838	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-71.747	73.8306
0 - >1	*-148.226	86.7079
1 - >1	-76.479	95.3739

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal de Badajoz

ANOVA Table for Pinv Badajoz by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	113714.0	2	56856.9	6.73	0.0020
Within groups	667799.0	79	8453.15		
Total (Corr.)	781513.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Badajoz by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	40	195.36	X
1	26	235.158	X
>1	16	294.056	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-39.7977	46.1017
0 - >1	*-98.6963	54.1334
1 - >1	*-58.8986	58.1486

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo y precipitación otoñal de Badajoz

ANOVA Table for Poto Badajoz by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	11972.1	2	5986.07	0.82	0.4454
Within groups	578702.0	79	7325.34		
Total (Corr.)	590674.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Badajoz by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	26	129.242	X
0	40	142.18	X
>1	16	164.006	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	12.9377	42.9162
0 - >1	-21.8262	50.393
1 - >1	-34.7639	54.1307

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal Ciudad Real

ANOVA Table for Pinv CReal by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	144633.0	2	72316.4	12.17	0.0000
Within groups	469595.0	79	5944.24		
Total (Corr.)	614228.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv CReal by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	40	138.435	X
1	26	182.262	X
>1	16	249.938	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-43.8265	38.6594
0 - >1	*-111.503	45.3946
1 - >1	*-67.676	48.7616

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal Ciudad Real

ANOVA Table for Poto CReal by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	6947.64	2	3473.82	0.91	0.4062
Within groups	301131.0	79	3811.78		
Total (Corr.)	308078.0	81			

Multiple Range Tests for Poto CReal by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	40	112.342	X
1	26	113.235	X
>1	16	135.9	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-0.892115	30.9579
0 - >1	-23.5575	36.3513
1 - >1	-22.6654	39.0476

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal de Madrid

ANOVA Table for Pinv Madrid by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	81084.1	2	40542.1	8.94	0.0003
Within groups	358182.0	79	4533.95		
Total (Corr.)	439266.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Madrid by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	40	140.46	X
1	26	177.096	X
>1	16	223.113	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-36.6362	33.7634
0 - >1	*-82.6525	39.6456
1 - >1	*-46.0163	42.5862

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal de Madrid

ANOVA Table for Poto Madrid by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7202.27	2	3601.14	0.82	0.4443
Within groups	347055.0	79	4393.1		
Total (Corr.)	354257.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Madrid by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	40	123.112	X
>1	16	133.294	X
1	26	144.431	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-21.3183	33.2348
0 - >1	-10.1813	39.0249
1 - >1	11.137	41.9195

\* denotes a statistically significant difference.



### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación anual Albacete

ANOVA Table for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	22790.3	2	11395.2	1.71	0.1927
Within groups	293213.0	44	6663.93		
Total (Corr.)	316003.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	17	306.482	X
0	21	340.133	X
>1	9	365.944	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	33.651	53.6757
0 - >1	-25.8111	65.5466
1 - >1	-59.4621	67.8206

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación total anual Murcia

ANOVA Table for PrecTotal Murcia by reclas inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	64516.3	2	32258.2	2.46	0.0931
Within groups	919323.0	70	13133.2		
Total (Corr.)	983839.0	72			

Multiple Range Tests for PrecTotal Murcia by reclas inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	28	275.5	X
0	35	330.4	X
>1	10	351.2	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	54.9	57.9513
0 - >1	-20.8	81.9556
1 - >1	-75.7	84.2013

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal Murcia**

ANOVA Table for Pinv Murcia by reclas inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	9751,7	2	4875,85	1,39	0,2545
Within groups	251697,0	72	3495,8		
Total (Corr.)	261449,0	74			

Multiple Range Tests for Pinv Murcia by reclas inund Tajo

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	29	98,1069	X
0	36	119,394	X
>1	10	126,79	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		21,2875	29,4096
0 - >1		-7,39556	42,1318
1 - >1		-28,6831	43,2231

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal Murcia**

ANOVA Table for Poto Murcia by reclas inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3808,48	2	1904,24	0,39	0,6803
Within groups	354070,0	72	4917,64		
Total (Corr.)	357879,0	74			

Multiple Range Tests for Poto Murcia by reclas inund Tajo

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	29	110,255	X
0	36	118,675	X
>1	10	132,47	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		8,41983	34,8814
0 - >1		-13,795	49,9707
1 - >1		-22,2148	51,265

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación anual Alicante

ANOVA Table for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	79169.8	2	39584.9	2.63	0.0776
Within groups	1.40087E6	93	15063.1		
Total (Corr.)	1.48004E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	17	302.118	XX
1	29	302.655	X
0	50	359.94	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*57.2848	56.8883
0 - >1	57.8224	68.4261
1 - >1	0.537525	74.4473

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal Alicante

ANOVA Table for Pinv Alicante by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7086.91	2	3543.45	0.90	0.4115
Within groups	311728.0	79	3945.92		
Total (Corr.)	318815.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Alicante by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	16	90.5437	X
1	26	102.677	X
0	40	114.63	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	11.9531	31.4979
0 - >1	24.0863	36.9854
1 - >1	12.1332	39.7287

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal Alicante**

ANOVA Table for Poto Alicante by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	19630.6	2	9815.28	1.17	0.3164
Within groups	664119.0	79	8406.58		
Total (Corr.)	683750.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Alicante by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	16	123.131	X
1	26	132.662	X
0	40	159.267	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	26.606	45.9745
0 - >1	36.1362	53.9841
1 - >1	9.53029	57.9882

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación anual Valencia**

ANOVA Table for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	55701.0	2	27850.5	0.83	0.4397
Within groups	3.12466E6	93	33598.5		
Total (Corr.)	3.18037E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	29	406.483	X
0	50	452.66	X
>1	17	470.118	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	46.1772	84.9623
0 - >1	-17.4576	102.194
1 - >1	-63.6349	111.187

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal Valencia

ANOVA Table for Pinv Valencia by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	10336.3	2	5168.16	1.13	0.3291
Within groups	362258.0	79	4585.54		
Total (Corr.)	372594.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Valencia by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	26	127.754	X
>1	16	141.512	X
0	40	153.318	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	25.5637	33.9549
0 - >1	11.805	39.8705
1 - >1	-13.7587	42.8278

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal Valencia

ANOVA Table for Poto Valencia by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	29175.5	2	14587.8	0.76	0.4691
Within groups	1.50801E6	79	19088.7		
Total (Corr.)	1.53718E6	81			

Multiple Range Tests for Poto Valencia by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	26	173.635	X
0	40	199.467	X
>1	16	227.356	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	25.8329	69.278
0 - >1	-27.8888	81.3475
1 - >1	-53.7216	87.3812

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación otoñal Albacete

ANOVA Table for Poto Albacete by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1201.65	2	600.823	0.21	0.8100
Within groups	224714.0	79	2844.48		
Total (Corr.)	225916.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Albacete by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	26	98.0327	X
0	40	103.49	X
>1	16	108.881	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	5.45731	26.7429
0 - >1	-5.39125	31.402
1 - >1	-10.8486	33.7312

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Tajo-precipitación invernal Albacete

ANOVA Table for Pinv Albacete by Reclas Inund Tajo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	11237.3	2	5618.67	2.85	0.0639
Within groups	155808.0	79	1972.26		
Total (Corr.)	167046.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Albacete by Reclas Inund Tajo

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	26	98.1654	X
0	40	103.575	X
>1	16	130.371	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	5.40962	22.2684
0 - >1	*-26.7963	26.148
1 - >1	*-32.2059	28.0874

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación anual Toledo

ANOVA Table for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	29117.1	2	14558.6	2.34	0.1079
Within groups	273412.0	44	6213.91		
Total (Corr.)	302529.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	16	352.262	X
1	18	370.05	XX
>1	13	414.7	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-17.7875	54.586
0 - >1	*-62.4375	59.3205
1 - >1	-44.65	57.8243

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación anual Madrid

ANOVA Table for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	84926.0	2	42463.0	4.50	0.0136
Within groups	877549.0	93	9436.01		
Total (Corr.)	962475.0	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	48	405.615	X
1	29	447.145	XX
>1	19	480.642	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-41.5302	45.3687
0 - >1	*-75.0275	52.2843
1 - >1	-33.4973	56.9345

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación anual Badajoz

ANOVA Table for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	143627.0	2	71813.7	3.52	0.0338
Within groups	1.89999E6	93	20430.0		
Total (Corr.)	2.04362E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	48	449.228	X
1	29	521.853	X
>1	19	532.863	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-72.6257	66.757
0 - >1	*-83.6354	76.9328
1 - >1	-11.0097	83.7753

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación anual Ciudad Real

ANOVA Table for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	168489.0	2	84244.6	3.30	0.0412
Within groups	2.29415E6	90	25490.5		
Total (Corr.)	2.46264E6	92			

Multiple Range Tests for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	46	334.615	X
1	28	406.473	XX
>1	19	433.916	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-71.858	76.0282
0 - >1	*-99.3006	86.5003
1 - >1	-27.4426	94.2779

\* denotes a statistically significant difference.



### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación invernal Badajoz

ANOVA Table for Pinv Badajoz by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	70870.1	2	35435.1	3.94	0.0234
Within groups	710643.0	79	8995.48		
Total (Corr.)	781513.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Badajoz by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	201.541	X
1	25	226.72	XX
>1	20	275.42	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-25.1795	48.8753
0 - >1	*-73.8795	52.3945
1 - >1	-48.7	56.6351

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación otoñal Badajoz

ANOVA Table for Poto Badajoz by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	40966.7	2	20483.4	2.94	0.0585
Within groups	549707.0	79	6958.32		
Total (Corr.)	590674.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Badajoz by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	119.781	X
>1	20	147.275	XX
1	25	171.768	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-51.9869	42.9862
0 - >1	-27.4939	46.0814
1 - >1	24.493	49.811

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación invernal Ciudad Real

ANOVA Table for Pinv CReal by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	110886.0	2	55442.8	8.70	0.0004
Within groups	503342.0	79	6371.42		
Total (Corr.)	614228.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv CReal by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	143.338	X
1	25	170.424	X
>1	20	235.555	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-27.0862		41.1335
0 - >1	*-92.2172		44.0952
1 - >1	*-65.131		47.6641

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación otoñal Ciudad Real

ANOVA Table for Poto CReal by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	6122.02	2	3061.01	0.80	0.4526
Within groups	301956.0	79	3822.23		
Total (Corr.)	308078.0	81			

Multiple Range Tests for Poto CReal by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	107.773	X
>1	20	123.305	X
1	25	126.34	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-18.567		31.8593
0 - >1	-15.532		34.1533
1 - >1	3.035		36.9175

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación invernal Madrid

ANOVA Table for Pinv Madrid by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	55775.5	2	27887.7	5.74	0.0047
Within groups	383491.0	79	4854.32		
Total (Corr.)	439266.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Madrid by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	146.9	X
1	25	164.564	X
>1	20	212.165	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-17.664	35.9039
0 - >1	*-65.265	38.4891
1 - >1	*-47.601	41.6042

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación otoñal Madrid

ANOVA Table for Poto Madrid by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	23552.3	2	11776.1	2.81	0.0660
Within groups	330705.0	79	4186.14		
Total (Corr.)	354257.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Madrid by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	113.943	X
>1	20	139.3	XX
1	25	152.42	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-38.4768	33.3414
0 - >1	-25.3568	35.7421
1 - >1	13.12	38.6349

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación anual Albacete

ANOVA Table for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	23316.8	2	11658.4	1.75	0.1852
Within groups	292686.0	44	6651.97		
Total (Corr.)	316003.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	------	--------------------

0	16	305.606	X
1	18	335.944	X
>1	13	362.292	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-30.3382	56.4772
0 - >1	-56.6861	61.3758
1 - >1	-26.3479	59.8278

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana-precipitación total anual Murcia

ANOVA Table for PrecTotal Murcia by reclas inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	31473.5	2	15736.7	1.16	0.3205
Within groups	952366.0	70	13605.2		
Total (Corr.)	983839.0	72			

Multiple Range Tests for PrecTotal Murcia by reclas inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	------	--------------------

1	21	281.762	X
>1	11	307.182	X
0	41	329.122	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	47.36	62.4264
0 - >1	21.9401	78.9928
1 - >1	-25.4199	86.5851

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación invernal Murcia**

ANOVA Table for Pinv Murcia by reclas inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	10387,8	2	5193,92	1,49	0,2323
Within groups	251061,0	72	3486,96		
Total (Corr.)	261449,0	74			

Multiple Range Tests for Pinv Murcia by reclas inund Guadiana

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	21	97,2476	X
>1	11	101,118	X
0	43	122,249	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		25,0012	31,3386
0 - >1		21,1307	39,774
1 - >1		-3,87056	43,8129

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación otoñal Murcia**

ANOVA Table for Poto Murcia by reclas inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3242,7	2	1621,35	0,33	0,7206
Within groups	354636,0	72	4925,5		
Total (Corr.)	357879,0	74			

Multiple Range Tests for Poto Murcia by reclas inund Guadiana

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	21	106,814	X
>1	11	119,218	X
0	43	121,858	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		15,0439	37,2461
0 - >1		2,63996	47,2716
1 - >1		-12,4039	52,0719

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación anual Alicante

ANOVA Table for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	52989.2	2	26494.6	1.73	0.1835
Within groups	1.42705E6	93	15344.6		
Total (Corr.)	1.48004E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	19	291.211	X
1	29	325.966	X
0	48	352.583	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	26.6178	57.8549
0 - >1	61.3728	66.6737
1 - >1	34.755	72.6038

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación invernal Alicante

ANOVA Table for Pinv Alicante by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	14766.5	2	7383.26	1.92	0.1536
Within groups	304048.0	79	3848.71		
Total (Corr.)	318815.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Alicante by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	20	89.46	X
1	25	98.224	X
0	37	120.505	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	22.2814	31.9694
0 - >1	31.0454	34.2714
1 - >1	8.764	37.0451

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación otoñal Alicante

ANOVA Table for Poto Alicante by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	21642.1	2	10821.1	1.29	0.2807
Within groups	662108.0	79	8381.11		
Total (Corr.)	683750.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Alicante by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	25	126.192	X
>1	20	133.02	X
0	37	161.481	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	35.2891		47.1767
0 - >1	28.4611		50.5737
1 - >1	-6.828		54.6669

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación anual Valencia

ANOVA Table for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	18595.9	2	9297.93	0.27	0.7613
Within groups	3.16177E6	93	33997.5		
Total (Corr.)	3.18037E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	19	414.737	X
1	29	443.31	X
0	48	451.604	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	8.29382		86.1164
0 - >1	36.8673		99.2431
1 - >1	28.5735		108.07

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación invernol Valencia

ANOVA Table for Pinv Valencia by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	8873.69	2	4436.85	0.96	0.3859
Within groups	363721.0	79	4604.06		
Total (Corr.)	372594.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Valencia by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	25	132.64	X
>1	20	134.57	X
0	37	154.354	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	21.7141	34.9661
0 - >1	19.7841	37.4838
1 - >1	-1.93	40.5176

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación otoñal Valencia

ANOVA Table for Poto Valencia by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7736.4	2	3868.2	0.20	0.8193
Within groups	1.52945E6	79	19360.1		
Total (Corr.)	1.53718E6	81			

Multiple Range Tests for Poto Valencia by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	20	179.635	X
1	25	201.596	X
0	37	202.657	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	1.06076	71.7019
0 - >1	23.0218	76.8647
1 - >1	21.961	83.0858

\* denotes a statistically significant difference.



### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación otoñal Albacete

ANOVA Table for Poto Albacete by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2217.73	2	1108.87	0.39	0.6773
Within groups	223698.0	79	2831.62		
Total (Corr.)	225916.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Albacete by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	25	96.972	X
0	37	102.307	X
>1	20	111.045	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	5.33476	27.4217
0 - >1	-8.73824	29.3962
1 - >1	-14.073	31.7754

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Guadiana -precipitación invernal Albacete

ANOVA Table for Pinv Albacete by Reclas Inund Guadiana

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	4260.78	2	2130.39	1.03	0.3604
Within groups	162785.0	79	2060.57		
Total (Corr.)	167046.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Albacete by Reclas Inund Guadiana

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	102.805	X
1	25	103.278	X
>1	20	119.775	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-0.472195	23.3922
0 - >1	-16.9696	25.0765
1 - >1	-16.4974	27.1061

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Ciudad Real

ANOVA Table for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	150044.0	2	75021.8	2.92	0.0591
Within groups	2.31259E6	90	25695.5		
Total (Corr.)	2.46264E6	92			

Multiple Range Tests for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	66	352.602	X
>1	14	408.943	XX
1	13	463.154	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	*-110.552	96.6331
0 - >1	-56.3406	93.7054
1 - >1	54.211	122.66

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Valencia

ANOVA Table for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	215458.0	2	107729.0	3.38	0.0383
Within groups	2.96491E6	93	31880.7		
Total (Corr.)	3.18037E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	69	416.536	X
1	13	457.923	XX
>1	14	551.357	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-41.3868	107.204
0 - >1	*-134.821	103.932
1 - >1	-93.4341	136.567

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Badajoz

ANOVA Table for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	5906.76	2	2953.38	0.13	0.8741
Within groups	2.03771E6	93	21910.9		
Total (Corr.)	2.04362E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	14	469.174	X
1	13	486.708	X
0	69	491.673	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	4.96535	88.8746
0 - >1	22.4988	86.1623
1 - >1	17.5334	113.217

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Madrid

ANOVA Table for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1977.36	2	988.678	0.10	0.9088
Within groups	960498.0	93	10327.9		
Total (Corr.)	962475.0	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	69	431.009	X
>1	14	432.271	X
1	13	444.423	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-13.4144	61.0175
0 - >1	-1.26273	59.1553
1 - >1	12.1516	77.7302

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Toledo

ANOVA Table for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	8233.3	2	4116.65	0.62	0.5450
Within groups	294296.0	44	6688.54		
Total (Corr.)	302529.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	370.765	X
>1	5	380.2	X
1	5	413.78	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-43.0151	78.5344
0 - >1	-9.43514	78.5344
1 - >1	33.58	104.244

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Alicante

ANOVA Table for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	107178.0	2	53588.8	3.63	0.0303
Within groups	1.37286E6	93	14761.9		
Total (Corr.)	1.48004E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	69	315.246	X
1	13	338.846	XX
>1	14	410.929	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-23.5998	72.9489
0 - >1	*-95.6822	70.7227
1 - >1	-72.0824	92.9297

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación anual Albacete

ANOVA Table for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	22987.9	2	11494.0	1.73	0.1898
Within groups	293015.0	44	6659.44		
Total (Corr.)	316003.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	37	321.692	X
1	5	363.78	X
>1	5	385.0	X
Contrast	Difference		
0 - 1	-42.0881	78.3633	
0 - >1	-63.3081	78.3633	
1 - >1	-21.22	104.017	

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación total anual Murcia

ANOVA Table for PrecTotal Murcia by reclas inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	102296.0	2	51148.2	4.06	0.0214
Within groups	881543.0	70	12593.5		
Total (Corr.)	983839.0	72			

Multiple Range Tests for PrecTotal Murcia by reclas inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	51	287.922	X
1	14	360.214	X
>1	8	382.875	X
Contrast	Difference		
0 - 1	*-72.2927	67.5307	
0 - >1	*-94.9534	85.1118	
1 - >1	-22.6607	99.1965	

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernal Murcia

ANOVA Table for Pinv Murcia by reclas inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	20438,7	2	10219,4	3,05	0,0534
Within groups	241010,0	72	3347,37		
Total (Corr.)	261449,0	74			

Multiple Range Tests for Pinv Murcia by reclas inund Jucar

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	8	100,925	XX
0	53	104,764	X
1	14	146,521	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	*-41,7573		34,6574
0 - >1	3,83915		43,7464
1 - >1	45,5964		51,1167

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación otoñal Murcia

ANOVA Table for Poto Murcia by reclas inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	70882,5	2	35441,3	8,89	0,0004
Within groups	286996,0	72	3986,06		
Total (Corr.)	357879,0	74			

Multiple Range Tests for Poto Murcia by reclas inund Jucar

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	53	105,219	X
1	14	112,193	X
>1	8	205,888	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-6,97399		37,8196
0 - >1	*-100,669		47,7379
1 - >1	*-93,6946		55,7806

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación otoñal Alicante

ANOVA Table for Poto Alicante by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	136971.0	2	68485.3	9.89	0.0001
Within groups	546779.0	79	6921.26		
Total (Corr.)	683750.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Alicante by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	61	128.015	X
1	11	131.555	X
>1	10	253.4	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-3.53979		54.2437
0 - >1	*-125.385		56.4949
1 - >1	*-121.845		72.3532

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar-precipitación otoñal Valencia

ANOVA Table for Poto Valencia by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	326722.0	2	163361.0	10.66	0.0001
Within groups	1.21046E6	79	15322.3		
Total (Corr.)	1.53718E6	81			

Multiple Range Tests for Poto Valencia by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	61	167.32	X
1	11	209.782	X
>1	10	361.68	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-42.4621		80.7084
0 - >1	*-194.36		84.0578
1 - >1	*-151.898		107.653

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernol Valencia

ANOVA Table for Pinv Valencia by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	552.166	2	276.083	0.06	0.9431
Within groups	372042.0	79	4709.39		
Total (Corr.)	372594.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Valencia by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	10	138.94	X
0	61	142.493	X
1	11	148.818	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-6.32474	44.7445
0 - >1	3.55344	46.6014
1 - >1	9.87818	59.6826

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernol Alicante

ANOVA Table for Pinv Alicante by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2465.96	2	1232.98	0.31	0.7359
Within groups	316349.0	79	4004.42		
Total (Corr.)	318815.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Alicante by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	11	101.018	X
0	61	104.715	X
>1	10	120.47	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	3.69657	41.2598
0 - >1	-15.7552	42.9721
1 - >1	-19.4518	55.0345

\* denotes a statistically significant difference.



### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación otoñal Madrid

ANOVA Table for Poto Madrid by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	216.584	2	108.292	0.02	0.9761
Within groups	354041.0	79	4481.53		
Total (Corr.)	354257.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Madrid by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	61	131.149	X
1	11	131.873	X
>1	10	136.17	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-0.723547	43.6486
0 - >1	-5.02082	45.46
1 - >1	-4.29727	58.2208

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernal Madrid

ANOVA Table for Pinv Madrid by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	4621.3	2	2310.65	0.42	0.6585
Within groups	434645.0	79	5501.84		
Total (Corr.)	439266.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Madrid by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	10	148.12	X
1	11	169.536	X
0	61	171.256	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	1.71937	48.3628
0 - >1	23.1357	50.3698
1 - >1	21.4164	64.5089

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación otoñal Ciudad Real

ANOVA Table for Poto CReal by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2936.18	2	1468.09	0.38	0.6850
Within groups	305142.0	79	3862.56		
Total (Corr.)	308078.0	81			

Multiple Range Tests for Poto CReal by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	61	113.711	X
1	11	127.227	X
>1	10	127.63	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-13.5158	40.5224
0 - >1	-13.9185	42.204
1 - >1	-0.402727	54.0509

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernal Ciudad Real

ANOVA Table for Pinv CReal by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	136.529	2	68.2643	0.01	0.9913
Within groups	614091.0	79	7773.3		
Total (Corr.)	614228.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv CReal by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	11	171.082	X
0	61	174.33	X
>1	10	175.92	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	3.24769	57.4857
0 - >1	-1.59049	59.8714
1 - >1	-4.83818	76.6776

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación otoñal Badajoz**

ANOVA Table for Poto Badajoz by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	438.533	2	219.267	0.03	0.9711
Within groups	590235.0	79	7471.33		
Total (Corr.)	590674.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Badajoz by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	11	137.827	X
0	61	142.39	X
>1	10	146.97	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	4.56289	56.3581
0 - >1	-4.57984	58.6969
1 - >1	-9.14273	75.1735

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernal Badajoz**

ANOVA Table for Pinv Badajoz by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	14844.9	2	7422.45	0.76	0.4688
Within groups	766668.0	79	9704.66		
Total (Corr.)	781513.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Badajoz by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	11	197.5	X
>1	10	214.23	X
0	61	234.731	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	37.2311	64.2314
0 - >1	20.5011	66.897
1 - >1	-16.73	85.6753

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Badajoz

ANOVA Table for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	91398.5	2	45699.3	2.18	0.1191
Within groups	1.95222E6	93	20991.6		
Total (Corr.)	2.04362E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotalBadajoz by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	16	452.891	X
>1	29	455.992	X
0	51	516.688	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	63.797	82.4427
0 - >1	60.6959	66.9146
1 - >1	-3.1011	89.5998

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación otoñal Albacete

ANOVA Table for Poto Albacete by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7637.57	2	3818.79	1.38	0.2571
Within groups	218278.0	79	2763.01		
Total (Corr.)	225916.0	81			

Multiple Range Tests for Poto Albacete by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	61	98.4377	X
1	11	103.968	X
>1	10	128.22	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-5.53048	34.2727
0 - >1	-29.7823	35.695
1 - >1	-24.2518	45.7148

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Júcar -precipitación invernol Albacete

ANOVA Table for Pinv Albacete by Reclas Inund Jucar

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	912.672	2	456.336	0.22	0.8054
Within groups	166133.0	79	2102.95		
Total (Corr.)	167046.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv Albacete by Reclas Inund Jucar

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	10	99.3	X
1	11	104.036	X
0	61	108.915	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	4.87905	29.9
0 - >1	9.61541	31.1409
1 - >1	4.73636	39.8823

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Ciudad Real

ANOVA Table for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	16790.6	2	8395.32	0.31	0.7350
Within groups	2.44584E6	90	27176.1		
Total (Corr.)	2.46264E6	92			

Multiple Range Tests for PrecTotal CiudadReal by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	50	364.796	X
>1	29	385.591	X
1	14	399.714	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	-34.9183	99.0288
0 - >1	-20.7954	76.4452
1 - >1	14.1229	106.584

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Madrid

ANOVA Table for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	17882.2	2	8941.11	0.88	0.4181
Within groups	944593.0	93	10156.9		
Total (Corr.)	962475.0	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Madrid by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	29	417.679	X
1	16	419.994	X
0	51	445.81	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	25.8161		57.3469
0 - >1	28.1305		46.5456
1 - >1	2.31444		62.3254

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Toledo

ANOVA Table for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	48584.7	2	24292.3	4.21	0.0213
Within groups	253945.0	44	5771.47		
Total (Corr.)	302529.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Toledo by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	13	329.815	X
0	28	386.325	X
1	6	430.583	X
Contrast	Difference		+/- Limits
0 - 1	-44.2583		68.8784
0 - >1	*56.5096		51.3854
1 - >1	*100.768		75.5662

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Albacete**

ANOVA Table for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	22385.4	2	11192.7	1.68	0.1986
Within groups	293618.0	44	6673.13		
Total (Corr.)	316003.0	46			

Multiple Range Tests for PrecTotal Albacete by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
>1	13	297.862	X
1	6	339.7	X
0	28	347.718	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	8.01786	74.0636
0 - >1	49.8563	55.2537
1 - >1	41.8385	81.2549

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Alicante**

ANOVA Table for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	46910.6	2	23455.3	1.52	0.2236
Within groups	1.43313E6	93	15410.0		
Total (Corr.)	1.48004E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Alicante by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	16	289.5	X
0	51	331.902	X
>1	29	356.931	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	42.402	70.6366
0 - >1	-25.0291	57.3322
1 - >1	-67.431	76.7688

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación anual Valencia**

ANOVA Table for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	39258.5	2	19629.3	0.58	0.5613
Within groups	3.14111E6	93	33775.3		
Total (Corr.)	3.18037E6	95			

Multiple Range Tests for PrecTotal Valencia by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	16	413.625	X
0	51	434.373	X
>1	29	470.414	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	20.7475	104.575
0 - >1	-36.0412	84.8785
1 - >1	-56.7888	113.654

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación invernial Ciudad Real**

ANOVA Table for Pinv CReal by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1363.18	2	681.589	0.09	0.9160
Within groups	612864.0	79	7757.78		
Total (Corr.)	614228.0	81			

Multiple Range Tests for Pinv CReal by Reclas Inund Segura

Method: 95.0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
1	10	170.59	X
0	49	171.749	X
>1	23	180.591	X

Contrast	Difference	+/- Limits
0 - 1	1.15898	60.8343
0 - >1	-8.84232	44.3124
1 - >1	-10.0013	66.407

\* denotes a statistically significant difference.



**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación otoñal Ciudad Real**

ANOVA Table for Poto CReal by Reclas Inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	25805.8	2	12902.9	3.61	0.0316
Within groups	282273.0	79	3573.07		
Total (Corr.)	308078.0	81			

**Variables analizadas: inundaciones Segura-precipitación total anual Murcia**

ANOVA Table for PrecTotal Murcia by reclas inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	156616,0	2	78307,9	6,63	0,0023
Within groups	827223,0	70	11817,5		
Total (Corr.)	983839,0	72			

Multiple Range Tests for PrecTotal Murcia by reclas inund Segura

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	33	274,0	X
1	17	295,471	X
>1	23	379,348	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		-21,4706	64,7273
0 - >1		*-105,348	58,8921
1 - >1		*-83,8772	69,3466

\* denotes a statistically significant difference.

**Variables analizadas: inundaciones Segura -precipitación invernal Murcia**

ANOVA Table for Pinv Murcia by reclas inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	619,988	2	309,994	0,09	0,9181
Within groups	260829,0	72	3622,63		
Total (Corr.)	261449,0	74			

Multiple Range Tests for Pinv Murcia by reclas inund Segura

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	33	109,688	X
>1	25	112,02	X
1	17	117,118	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		-7,42977	35,8199
0 - >1		-2,33212	31,8132
1 - >1		5,09765	37,7182

\* denotes a statistically significant difference.

### Variables analizadas: inundaciones Segura -precipitación otoñal Murcia

ANOVA Table for Poto Murcia by reclas inund Segura

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	67919,2	2	33959,6	8,43	0,0005
Within groups	289960,0	72	4027,22		
Total (Corr.)	357879,0	74			

Multiple Range Tests for Poto Murcia by reclas inund Segura

Method: 95,0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
0	33	94,2121	X
1	17	99,5588	X
>1	25	159,716	X
Contrast		Difference	+/- Limits
0 - 1		-5,3467	37,7672
0 - >1		*-65,5039	33,5428
1 - >1		*-60,1572	39,7687

\* denotes a statistically significant difference.

## **ANEXO IV**

### **Resultados del Análisis de Regresión Logística**

## VALIDACION DEL MODELO (TAJO SIN TOLEDO)

## The LOGISTIC Procedure

## Model Information

Data Set	WORK.SERIE1	t o
Response Variable	tajo	
Number of Response Levels	2	
Number of Observations	132	
Model	binary logit	
Optimization Technique	Fisher's scoring	

## Response Profile

Ordered Value	tajo	Total Frequency
1	1	62
2	0	70

Probability modeled is tajo=1.

NOTE: 26 observations were deleted due to missing values for the response or explanatory variable:

## Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

## Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	184.506	162.964
SC	187.389	180.261
-2 Log L	182.506	150.964

R-Square 0.2125 Max-rescaled R-Square 0.28

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	31.5416	5	<.0 1
Score	28.1099	5	<.0 1
Wald	22.5622	5	0.0 4

## Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1.4052	1.0565	1.7689	0.1835
creal_inv	1	0.8555	0.3062	7.8031	0.0052
albacete	1	-0.8004	0.2672	8.9757	0.0027
madrid	1	0.6331	0.2761	5.2574	0.0219
valencia_ot1	1	-0.4096	0.1781	5.2883	0.0215
creal_ot1	1	0.6045	0.3612	2.8006	0.0942

## VALIDACION DEL MODELO (TAJO SIN TOLEDO)

## The LOGISTIC Procedure

## Odds Ratio Estimates

Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits
creal_inv	2.352	1.291 4.287
albacete	0.449	0.266 0.758
madrid	1.883	1.096 3.236
valencia_ot1	0.664	0.468 0.941
creal_ot1	1.830	0.902 3.716

## Association of Predicted Probabilities and Observed Responses

Percent Concordant	76.1	Somers' D	0.525
Percent Discordant	23.6	Gamma	0.526
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.263
Pairs	4340	c	0.762

## Partition for the Hosmer and Lemeshow Test

Group	Total	tajo = 1		tajo = 0	
		Observed	Expected	Observed	Expected
1	13	1	1.48	12	11.52
2	13	1	2.69	12	10.31
3	13	5	3.51	8	9.49
4	13	5	4.44	8	8.56
5	13	5	5.36	8	7.64
6	13	7	6.28	6	6.72
7	13	10	7.59	3	5.41
8	13	10	8.33	3	4.67
9	13	5	9.32	8	3.68
10	15	13	13.00	2	2.00

## Hosmer and Lemeshow Goodness-of-Fit Test

Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
12.5453	8	0.1285

## Classification Table

Prob Level	Correct Event		Incorrect Non-Event		Percentages		Sensitivity	Specificity	False POS	False NEG
	Event	Non-Event	Event	Non-Event	Correct	Incorrect				
0.050	62	0	70	0	47.0	100.0	0.0	53.0	.	
0.100	61	6	64	1	50.8	98.4	8.6	51.2	14.3	
0.150	61	9	61	1	53.0	98.4	12.9	50.0	10.0	
0.200	60	16	54	2	57.6	96.8	22.9	47.4	11.1	
0.250	57	23	47	5	60.6	91.9	32.9	45.2	17.9	
0.300	52	32	38	10	63.6	83.9	45.7	42.2	23.8	
0.350	48	35	35	14	62.9	77.4	50.0	42.2	28.6	
0.400	47	41	29	15	66.7	75.8	58.6	38.2	26.8	
0.450	42	44	26	20	65.2	67.7	62.9	38.2	31.3	
0.500	39	51	19	23	68.2	62.9	72.9	32.8	31.1	
0.550	35	53	17	27	66.7	56.5	75.7	32.7	33.8	
0.600	25	55	15	37	60.6	40.3	78.6	37.5	40.2	
0.650	20	57	13	42	58.3	32.3	81.4	39.4	42.4	
0.700	17	60	10	45	58.3	27.4	85.7	37.0	42.9	
0.750	13	66	4	49	59.8	21.0	94.3	23.5	42.6	
0.800	11	68	2	51	59.8	17.7	97.1	15.4	42.9	
0.850	9	69	1	53	59.1	14.5	98.6	10.0	43.4	

## VALIDACION DEL MODELO (GUADIANA)

## The LOGISTIC Procedure

## Model Information

Data Set	WORK.SERIE1	
Response Variable	guadiana	guadiana
Number of Response Levels	2	
Number of Observations	137	
Model	binary logit	
Optimization Technique	Fisher's scoring	

## Response Profile

Ordered Value	guadiana	Total Frequency
1	1	60
2	0	77

Probability modeled is guadiana=1.

NOTE: 21 observations were deleted due to missing values for the response or explanatory variables.

## Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

## Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	169.807	174.691
SC	192.727	180.531
-2 Log L	187.807	170.691

R-Square	0.1174	Max-rescaled R-Square	0.1574
----------	--------	-----------------------	--------

## Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	17.1166	1	<.0001
Score	16.2045	1	<.0001
Wald	14.2473	1	0.0002

## Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1.9569	0.4891	16.0091	<.0001
badajoz_inv	1	0.7936	0.2103	14.2473	0.0002

## Odds Ratio Estimates

Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits
badajoz_inv	2.211	1.465 3.339

## VALIDACION DEL MODELO (GUADIANA)

## The LOGISTIC Procedure

## Association of Predicted Probabilities and Observed Responses

Percent Concordant	71.2	Somers' D	0.427
Percent Discordant	28.5	Gamma	0.428
Percent Tied	0.3	Tau-a	0.212
Pairs	4620	c	0.714

## Partition for the Hosmer and Lemeshow Test

Group	Total	guadiana = 1		guadiana = 0	
		Observed	Expected	Observed	Expected
1	14	3	2.66	11	11.34
2	14	1	3.62	13	10.38
3	14	4	4.27	10	9.73
4	14	7	4.93	7	9.07
5	14	6	5.58	8	8.42
6	14	5	6.31	9	7.69
7	14	7	7.01	7	6.99
8	14	9	7.82	5	6.18
9	14	10	8.14	4	4.86
10	11	8	8.66	3	2.34

## Hosmer and Lemeshow Goodness-of-Fit Test

Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
5.4105	8	0.7129

## Classification Table

Prob Level	Correct		Incorrect		Percentages				
	Event	Non-Event	Event	Non-Event	Correct	Sensitivity	Specificity	False POS	False NEG
0.050	60	0	77	0	43.8	100.0	0.0	56.2	.
0.100	60	0	77	0	43.8	100.0	0.0	56.2	.
0.150	59	1	76	1	43.8	98.3	1.3	56.3	50.0
0.200	58	6	71	2	46.7	96.7	7.8	55.0	25.0
0.250	57	13	64	3	51.1	95.0	16.9	52.9	18.8
0.300	53	27	50	7	58.4	88.3	35.1	48.5	20.6
0.350	48	38	39	12	62.8	80.0	49.4	44.8	24.0
0.400	40	44	33	20	61.3	66.7	57.1	45.2	31.3
0.450	34	51	26	26	62.0	56.7	66.2	43.3	33.8
0.500	29	62	15	31	66.4	48.3	80.5	34.1	33.3
0.550	25	67	10	35	67.2	41.7	87.0	28.6	34.3
0.600	17	70	7	43	63.5	28.3	90.9	29.2	38.1
0.650	12	72	5	48	61.3	20.0	93.5	29.4	40.0
0.700	8	73	4	52	59.1	13.3	94.8	33.3	41.6
0.750	4	74	3	56	56.9	6.7	96.1	42.9	43.1
0.800	2	75	2	58	56.2	3.3	97.4	50.0	43.6
0.850	1	76	1	59	56.2	1.7	98.7	50.0	43.7
0.900	1	76	1	59	56.2	1.7	98.7	50.0	43.7
0.950	0	77	0	60	56.2	0.0	100.0	.	43.8
1.000	0	77	0	60	56.2	0.0	100.0	.	43.8

## VALIDACION DEL MODELO (JUCAR)

## The LOGISTIC Procedure

## Model Information

Data Set	WORK.SERIE1	
Response Variable	jucar	jucar
Number of Response Levels	2	
Number of Observations	141	
Model	binary logit	
Optimization Technique	Fisher's scoring	

## Response Profile

Ordered Value	jucar	Total Frequency
1	1	42
2	0	99

Probability modeled is jucar=1.

NOTE: 17 observations were deleted due to missing values for the response or explanatory variables.

## Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

## Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	173.752	161.499
SC	176.701	170.346
-2 Log L	171.752	155.499

R-Square 0.1089 Max-rescaled R-Square 0.1546

## Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	16.2530	2	0.0003
Score	16.0983	2	0.0003
Wald	13.5059	2	0.0012

## Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-3.0577	0.6465	22.3668	<.0001
valencia	1	0.3441	0.1204	8.1709	0.0043
murcia_ot	1	0.5040	0.2980	2.8601	0.0908

## VALIDACION DEL MODELO (JUCAR)

## The LOGISTIC Procedure

## Odds Ratio Estimates

Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits
valencia	1.411	1.114 1.786
murcia_ot	1.655	0.923 2.968

## Association of Predicted Probabilities and Observed Responses

Percent Concordant	70.4	Somers' D	0.413
Percent Discordant	29.1	Gamma	0.414
Percent Tied	0.4	Tau-a	0.174
Pairs	4158	c	0.706

## Partition for the Hosmer and Lemeshow Test

Group	Total	jucar = 1		jucar = 0	
		Observed	Expected	Observed	Expected
1	14	0	1.65	14	12.35
2	14	2	2.15	12	11.85
3	14	4	2.57	10	11.43
4	14	4	2.94	10	11.06
5	14	2	3.23	12	10.77
6	14	5	3.68	9	10.32
7	14	3	4.47	11	9.53
8	14	6	5.35	8	8.65
9	14	8	6.50	6	7.50
10	15	8	9.45	7	5.55

## Hosmer and Lemeshow Goodness-of-Fit Test

Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
6.6881	8	0.5706

## Classification Table

Prob Level	Correct		Incorrect		Percentages					
	Event	Non-Event	Event	Non-Event	Correct	Sensi- tivity	Speci- ficity	False POS	False NEG	
0.050	42	0	99	0	29.8	100.0	0.0	70.2	.	
0.100	42	1	98	0	30.5	100.0	1.0	70.0	0.0	
0.150	40	19	80	2	41.8	95.2	19.2	66.7	9.5	
0.200	35	38	61	7	51.8	83.3	38.4	63.5	15.6	
0.250	26	59	40	16	60.3	61.9	59.6	60.6	21.3	
0.300	23	69	30	19	65.2	54.8	69.7	56.6	21.6	
0.350	21	74	25	21	67.4	50.0	74.7	54.3	22.1	
0.400	17	84	15	25	71.6	40.5	84.8	46.9	22.9	
0.450	12	87	12	30	70.2	28.6	87.9	50.0	25.6	
0.500	8	90	9	34	69.5	19.0	90.9	52.9	27.4	
0.550	7	93	6	35	70.9	16.7	93.9	46.2	27.3	
0.600	4	95	4	38	70.2	9.5	96.0	50.0	28.6	
0.650	1	96	3	41	68.8	2.4	97.0	75.0	29.9	
0.700	1	97	2	41	69.5	2.4	98.0	66.7	29.7	
0.750	1	98	1	41	70.2	2.4	99.0	50.0	29.5	
0.800	1	99	0	41	70.9	2.4	100.0	0.0	29.3	
0.850	1	99	0	41	70.9	2.4	100.0	0.0	29.3	
0.900	1	99	0	41	70.9	2.4	100.0	0.0	29.3	
0.950	1	99	0	41	70.9	2.4	100.0	0.0	29.3	
1.000	0	99	0	42	70.2	0.0	100.0	.	29.8	

## VALIDACION DEL MODELO (SEGURA)

## The LOGISTIC Procedure

## Model Information

Data Set	WORK.SERIE1	segura
Response Variable	segura	
Number of Response Levels	2	
Number of Observations	137	
Model	binary logit	
Optimization Technique	Fisher's scoring	

## Response Profile

Ordered Value	segura	Total Frequency
1	1	58
2	0	79

Probability modeled is segura=1.

NOTE: 21 observations were deleted due to missing values for the response or explanatory variables.

## Model Convergence Status

Convergence criterion (GCONV=1E-8) satisfied.

## Model Fit Statistics

Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	188.691	170.064
SC	191.611	181.744
-2 Log L	186.691	162.064

R-Square 0.1645 Max-rescaled R-Square 0.2211

## Testing Global Null Hypothesis: BETA=0

Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	24.6265	3	<.0001
Score	23.0576	3	<.0001
Wald	19.2301	3	0.0002

## Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-0.4270	0.7813	0.2987	0.5847
murcia	1	0.3763	0.2191	2.9492	0.0859
murcia_ot	1	1.0239	0.3712	7.6074	0.0058
albacete	1	-0.6282	0.2413	6.7801	0.0092

## VALIDACION DEL MODELO (SEGURA)

## The LOGISTIC Procedure

## Odds Ratio Estimates

Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits
murcia	1.457	0.948 2.238
murcia_ot	2.784	1.346 5.763
albacete	0.534	0.333 0.856

## Association of Predicted Probabilities and Observed Responses

Percent Concordant	75.3	Somers' D	0.507
Percent Discordant	24.6	Gamma	0.508
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.249
Cairs	4582	c	0.754

## Partition for the Hosmer and Lemeshow Test

Group	Total	segura = 1		segura = 0	
		Observed	Expected	Observed	Expected
1	14	3	2.12	11	11.88
2	14	2	3.05	12	10.95
3	14	2	3.80	12	10.20
4	14	4	4.43	10	9.57
5	14	4	5.09	10	8.91
6	14	8	5.67	6	8.33
7	14	7	6.56	7	7.44
8	14	10	8.21	4	5.79
9	14	10	9.76	4	4.24
10	11	8	9.30	3	1.70

## Hosmer and Lemeshow Goodness-of-Fit Test

Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
6.3040	8	0.6132

## Classification Table

Prob Level	Correct		Incorrect		Correct	Percentages			
	Event	Non-Event	Event	Non-Event		Sensitivity	Specificity	False POS	False NEG
0.050	58	0	79	0	42.3	100.0	0.0	57.7	.
0.100	58	1	78	0	43.1	100.0	1.3	57.4	0.0
0.150	57	6	73	1	46.0	98.3	7.6	56.2	14.3
0.200	53	13	66	5	48.2	91.4	16.5	55.5	27.8
0.250	53	22	57	5	54.7	91.4	27.8	51.8	18.5
0.300	50	35	44	8	62.0	86.2	44.3	46.8	18.6
0.350	45	45	34	13	65.7	77.6	57.0	43.0	22.4
0.400	38	56	23	22	67.2	62.1	70.9	39.0	28.2
0.450	31	62	17	27	67.9	53.4	78.5	35.4	30.3
0.500	26	66	13	32	67.2	44.8	83.5	33.3	32.7
0.550	24	69	10	34	67.9	41.4	87.3	29.4	33.0
0.600	24	71	8	34	69.3	41.4	89.9	25.0	32.4
0.650	13	71	8	45	61.3	22.4	89.9	38.1	38.8
0.700	11	72	7	47	60.6	19.0	91.1	38.9	39.5
0.750	8	73	6	50	59.1	13.8	92.4	42.9	40.7
0.800	6	75	4	52	59.1	10.3	94.9	40.0	40.9
0.850	4	77	2	54	59.1	6.9	97.5	33.3	41.2
0.900	1	79	0	57	58.4	1.7	100.0	0.0	41.9
0.950	0	79	0	58	57.7	0.0	100.0	.	42.3

## **ANEXO V**

**ESQUEMAS LITOLÓGICOS, DE CUBIERTA VEGETAL Y  
TOPOGRÁFICOS DE LAS SUBCUENCAS DEL TAJO Y DEL GUADIANA**



## **SUBCUENCAS DEL GUADIANA**

# CUENCA DEL RÍO CIGÜELA

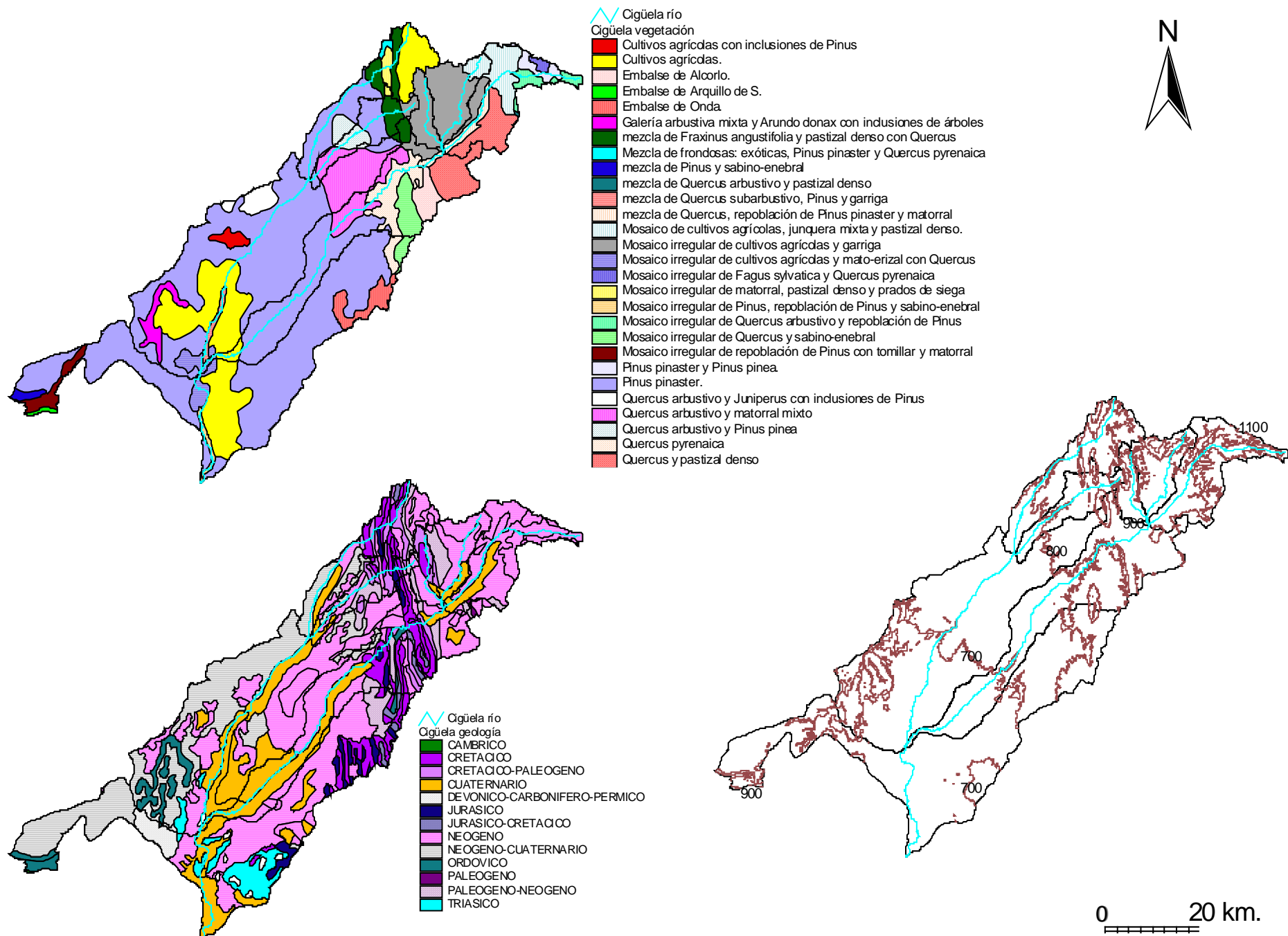


Figura V.1 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Cigüela

# CUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA QUINTANAR

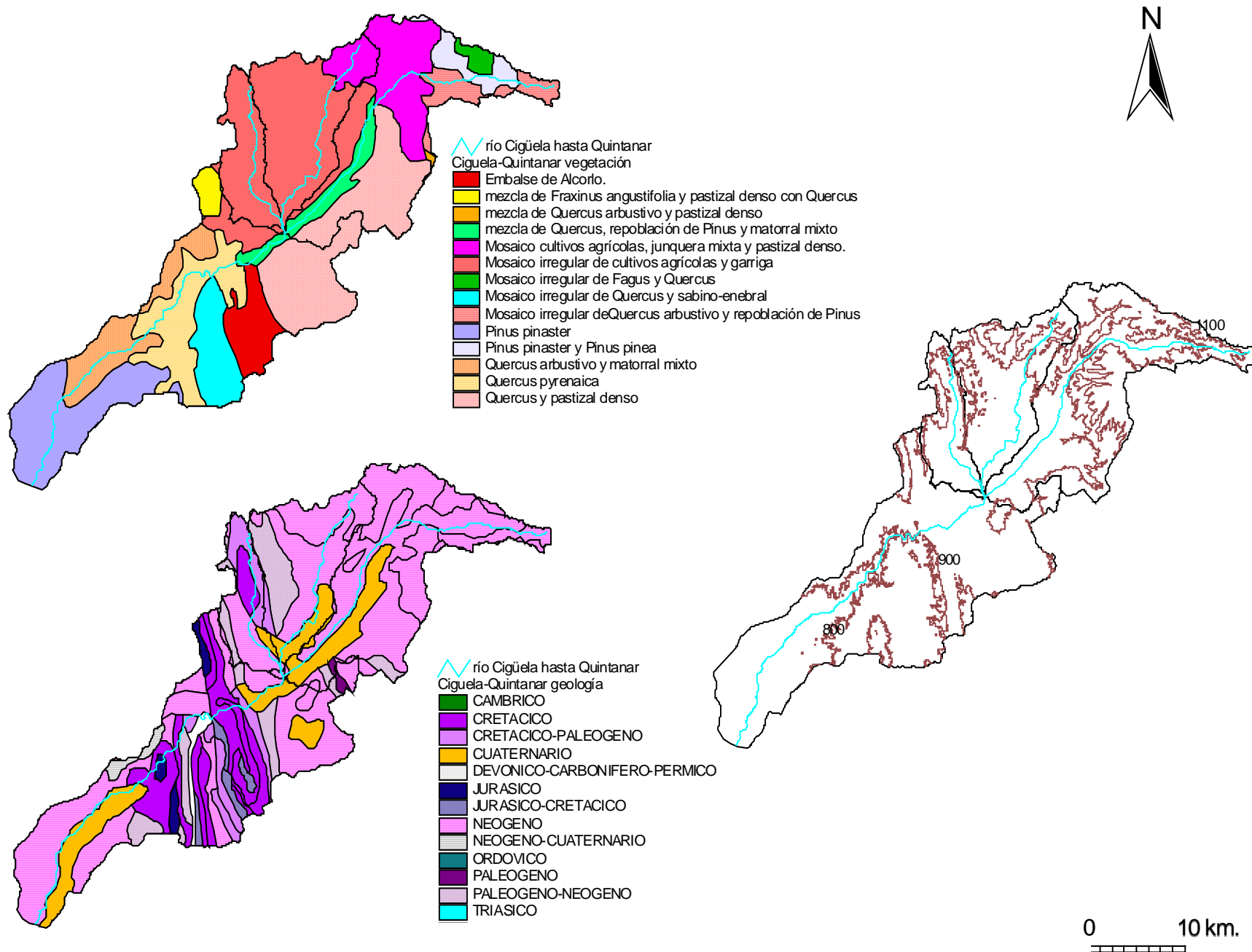


Figura V.2 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Cigüela hasta Quintanar de la Orden

# CUENCA DEL RÍO CIGÜELA HASTA VILLAFRANCA

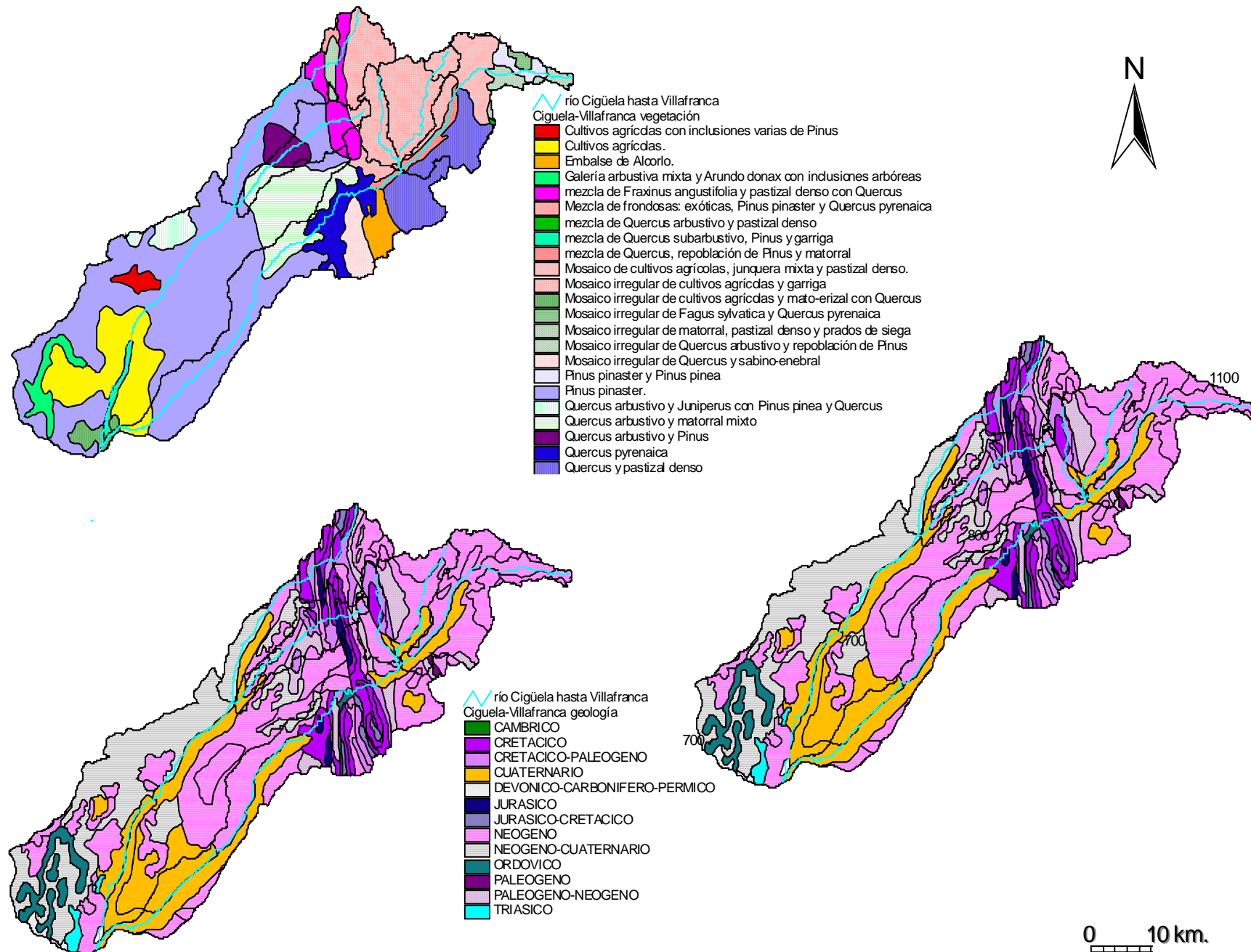


Figura V.3 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Cigüela hasta Villafranca

# CUENCA DEL RÍO AMARGUILLO

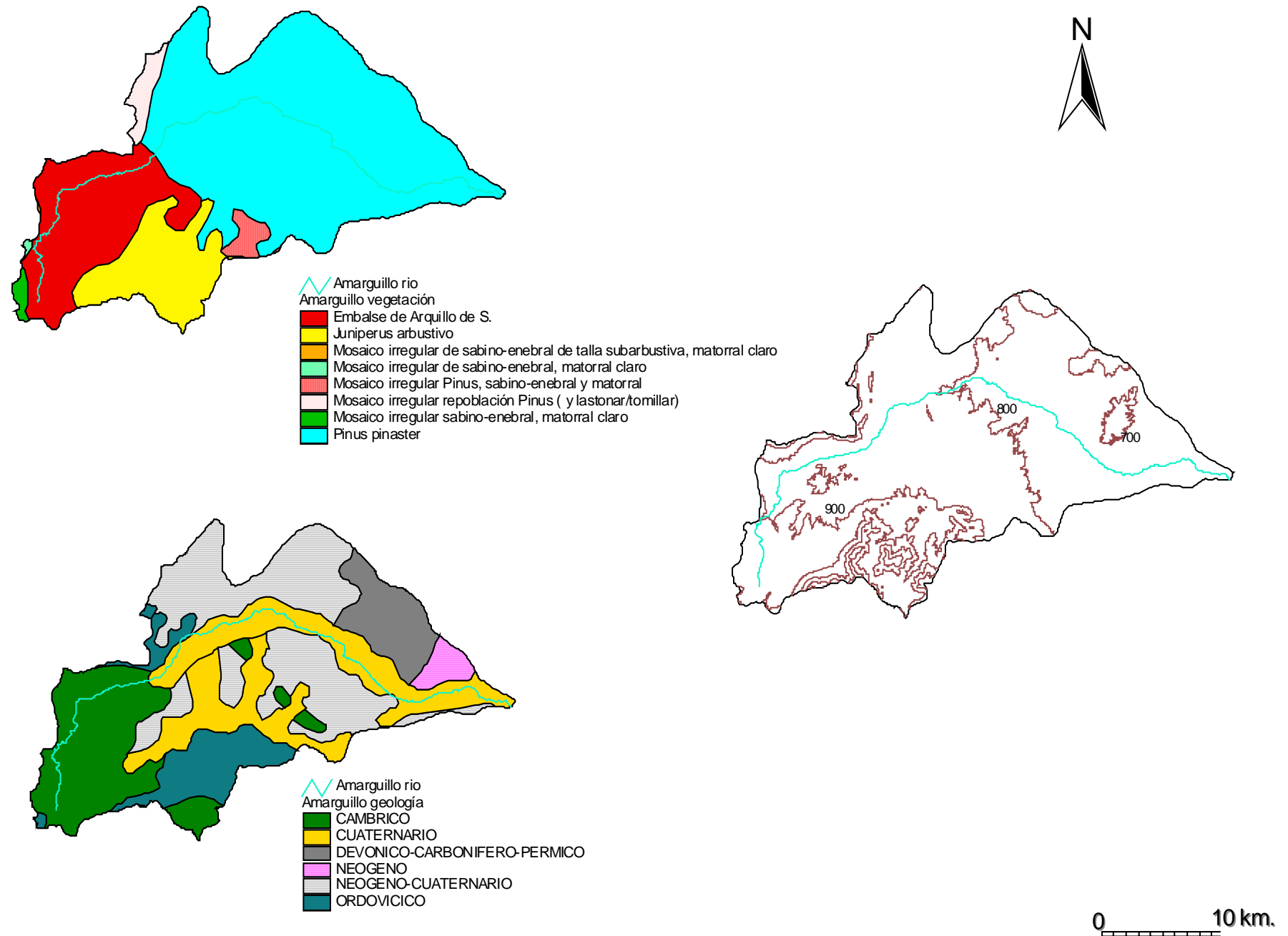
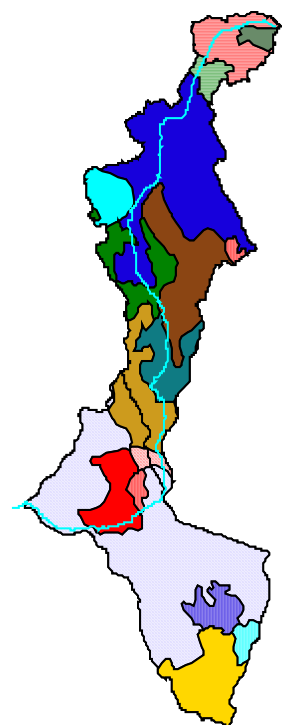
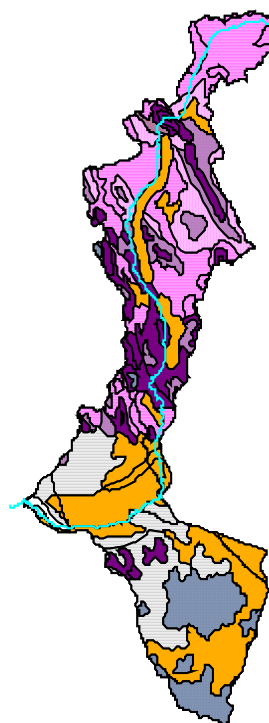


Figura V.4 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Amarguillo

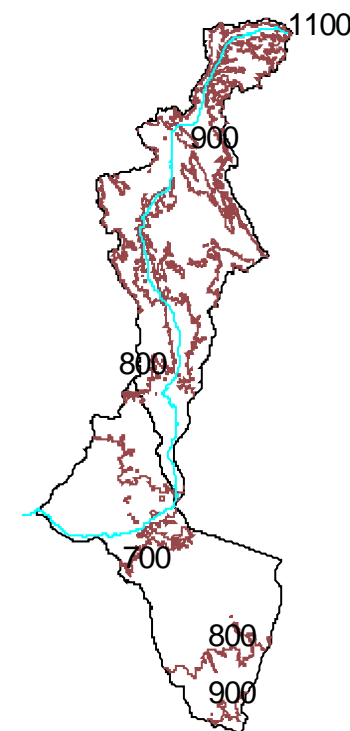
# CUENCA DEL RÍO ZÁNCARA



- Záncara río  
 Záncara vegetación
- Césped denso de altura, tasca con sabino-enebral
  - Cultivos agrícolas.
  - Embalse de Alcorlo.
  - Embalse.
  - galería arbórea mixta, Fraxinus angustifolia y repoblación de Populus canescens
  - Juniperus con Pinus
  - mezcla de Pinus y garriga alta y densa
  - mezcla de Quercus arbustivo y pastizal denso
  - Mosaico de cultivos agrícolas, junquera y pastizal denso.
  - Mosaico irregular de cultivos agrícolas y matorral con Quercus
  - Mosaico irregular de garriga y matorral con Pinus y Quercus
  - Mosaico irregular de Pinus
  - Mosaico irregular de Pinus y sabino-enebral
  - Mosaico irregular de Quercus arbustivo y repoblación de Pinus
  - Pinus
  - Pinus pinaster
  - Pinus sylvestris
  - Quercus y pastizal denso
  - Repoblación de Pinus



- Záncara río  
 Záncara geología
- CAMBRICO
  - CAMBRICO-ORDOVICICO
  - CARBONIFERO
  - CARBONIFERO-PERMICO
  - CRETACICO
  - CRETACICO-PALEOGENO
  - CUATERNARIO
  - DEVONICO-CARBONIFERO
  - DEVONICO-CARBONIFERO-PERMICO
  - JURASICO
  - JURASICO-CRETACICO
  - NEOGENO
  - NEOGENO-CUATERNARIO
  - ORDOVICICO
  - ORDOVICICO-SILURICO
  - ORDOVICICO
  - PALEOGENO
  - PALEOGENO-NEOGENO
  - PERMICO
  - PERMICO-TRIASICO
  - RIFEENSE
  - RIFEENSE-VENDIENSE-CAMBRICO
  - SILURICO
  - SILURICO-DEVONICO
  - TRIASICO
  - TRIASICO-JURASICO
  - VENDIENSE
  - VENDIENSE-CAMBRICO



0 20 km.

Figura V.5 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Záncara

# CUENCA DEL RÍO CÓRCOLES

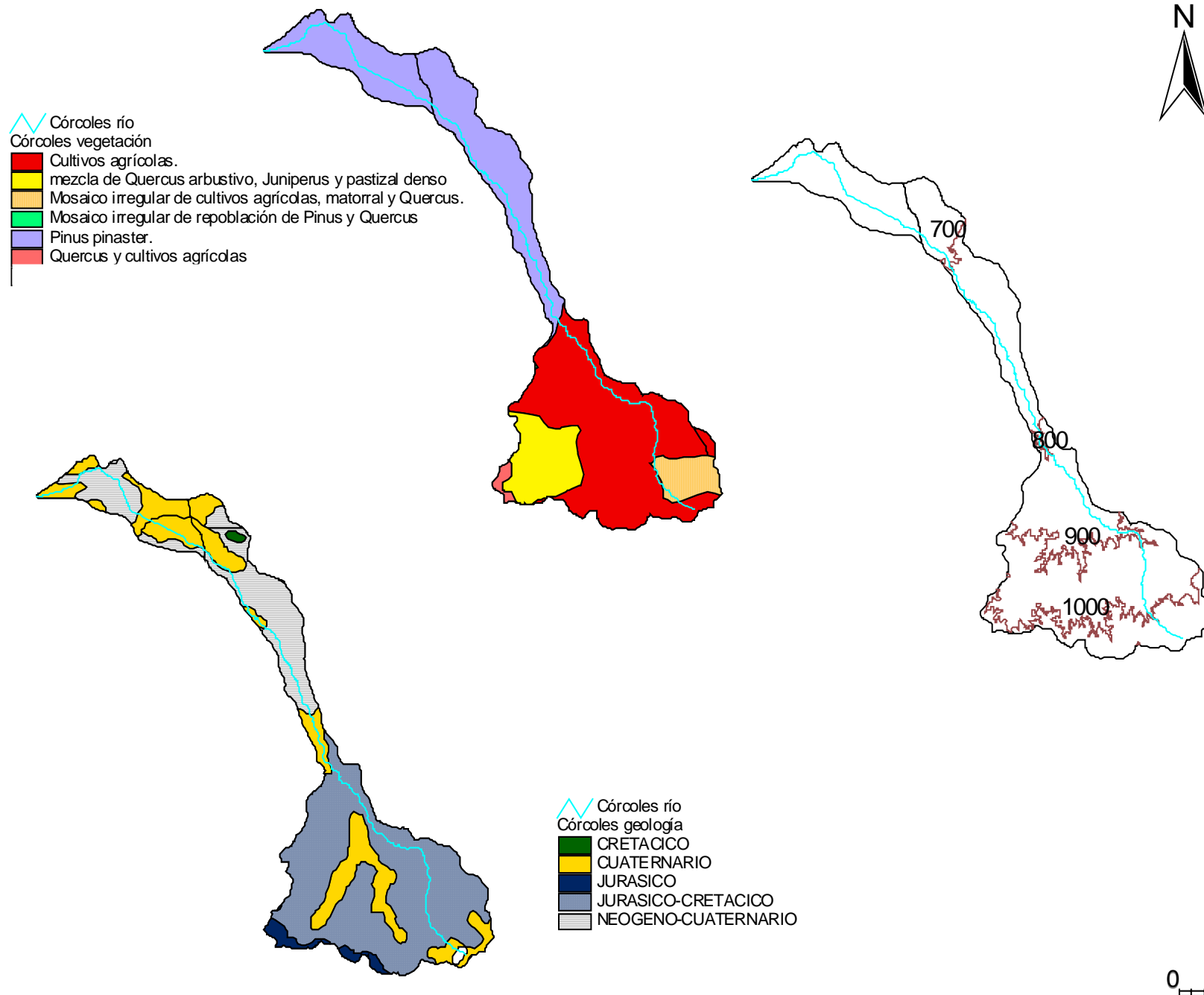


Figura V.6 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Córcoles

# CUENCA DEL RÍO GUADIANA HASTA ATAJADERO

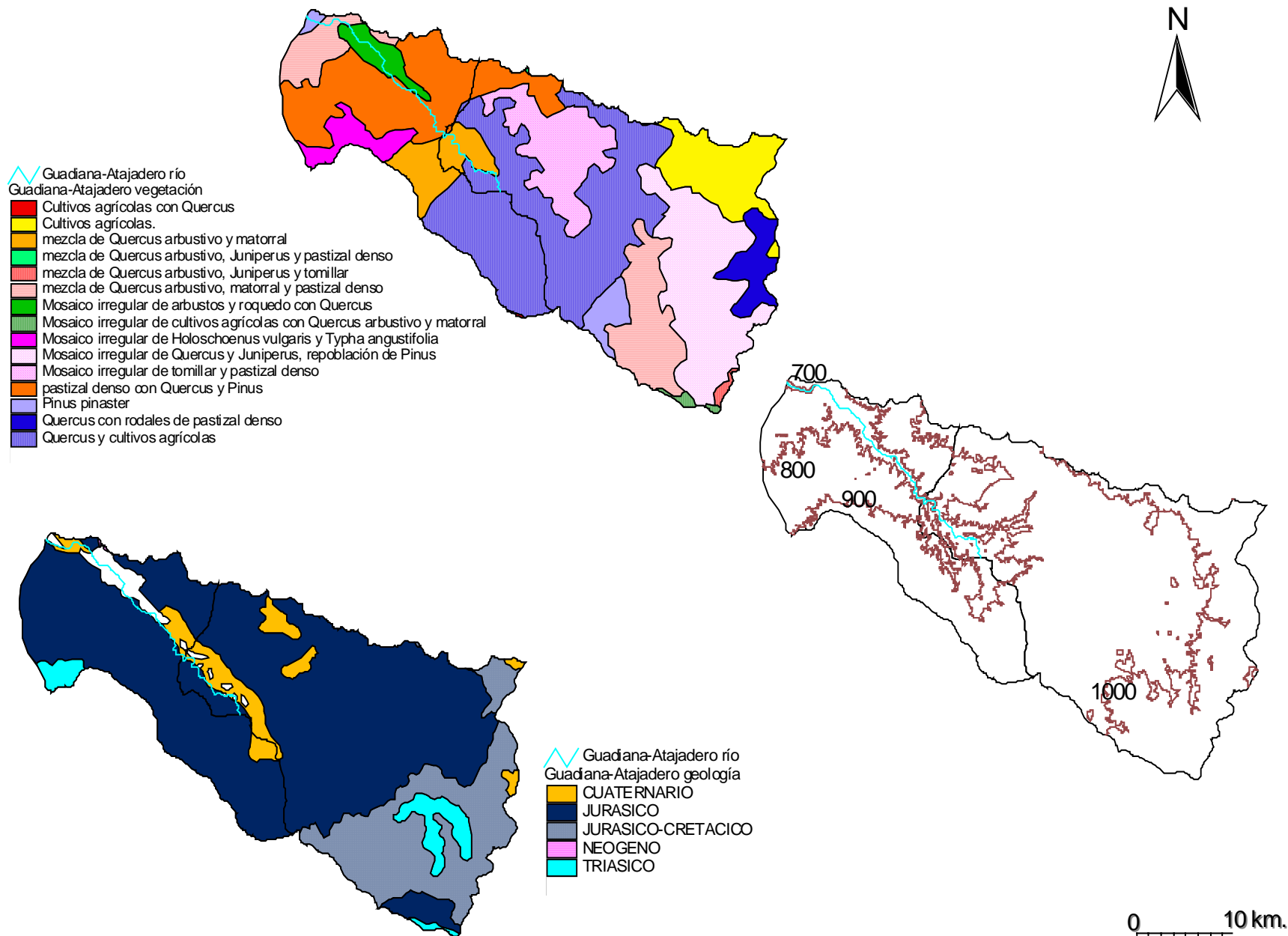


Figura V.7 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Guadiana hasta Atajadero



# CUENCA DEL RÍO AZUER

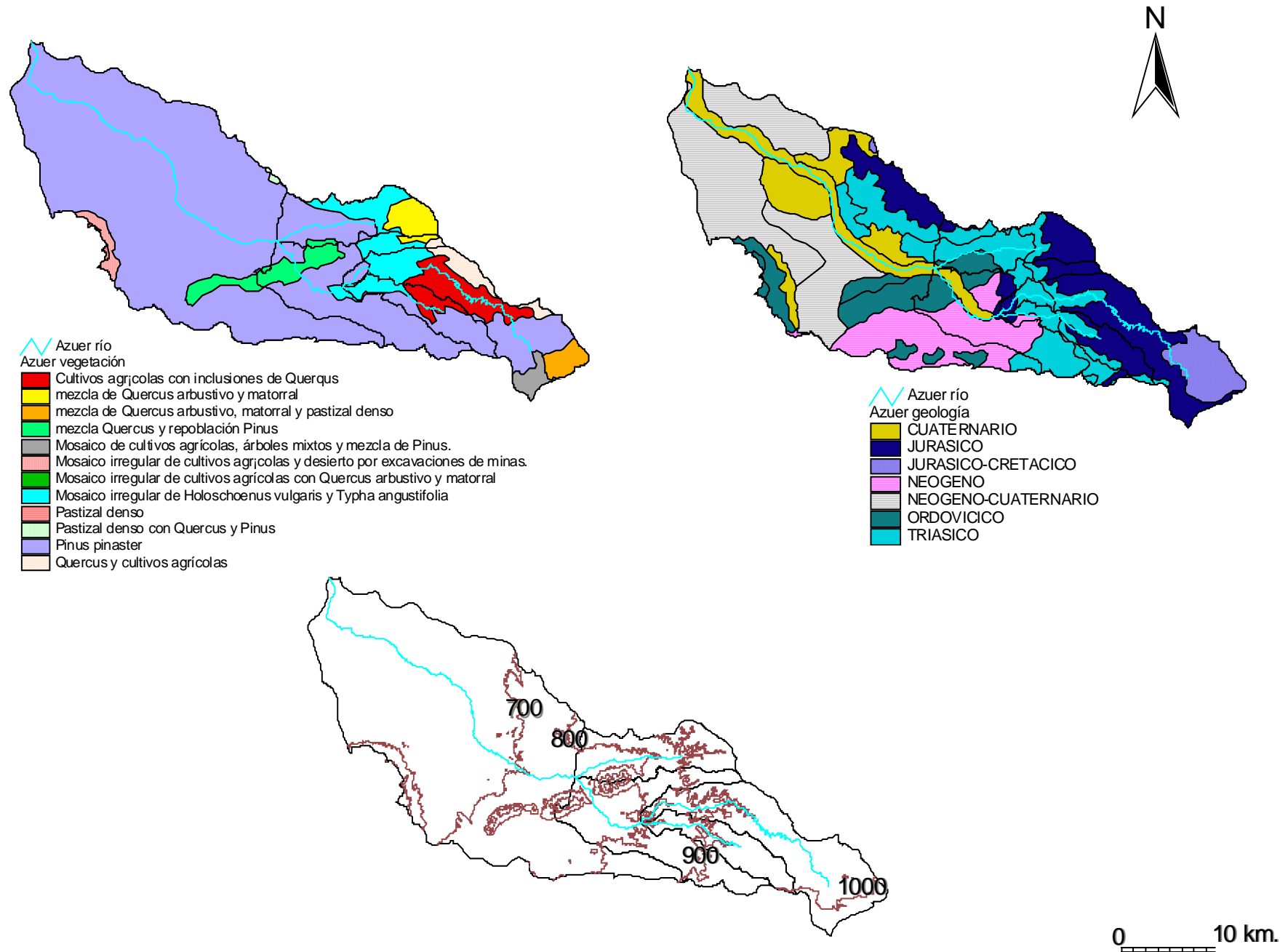


Figura V.8 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Azuer

# CUENCA DEL RÍO JABALÓN

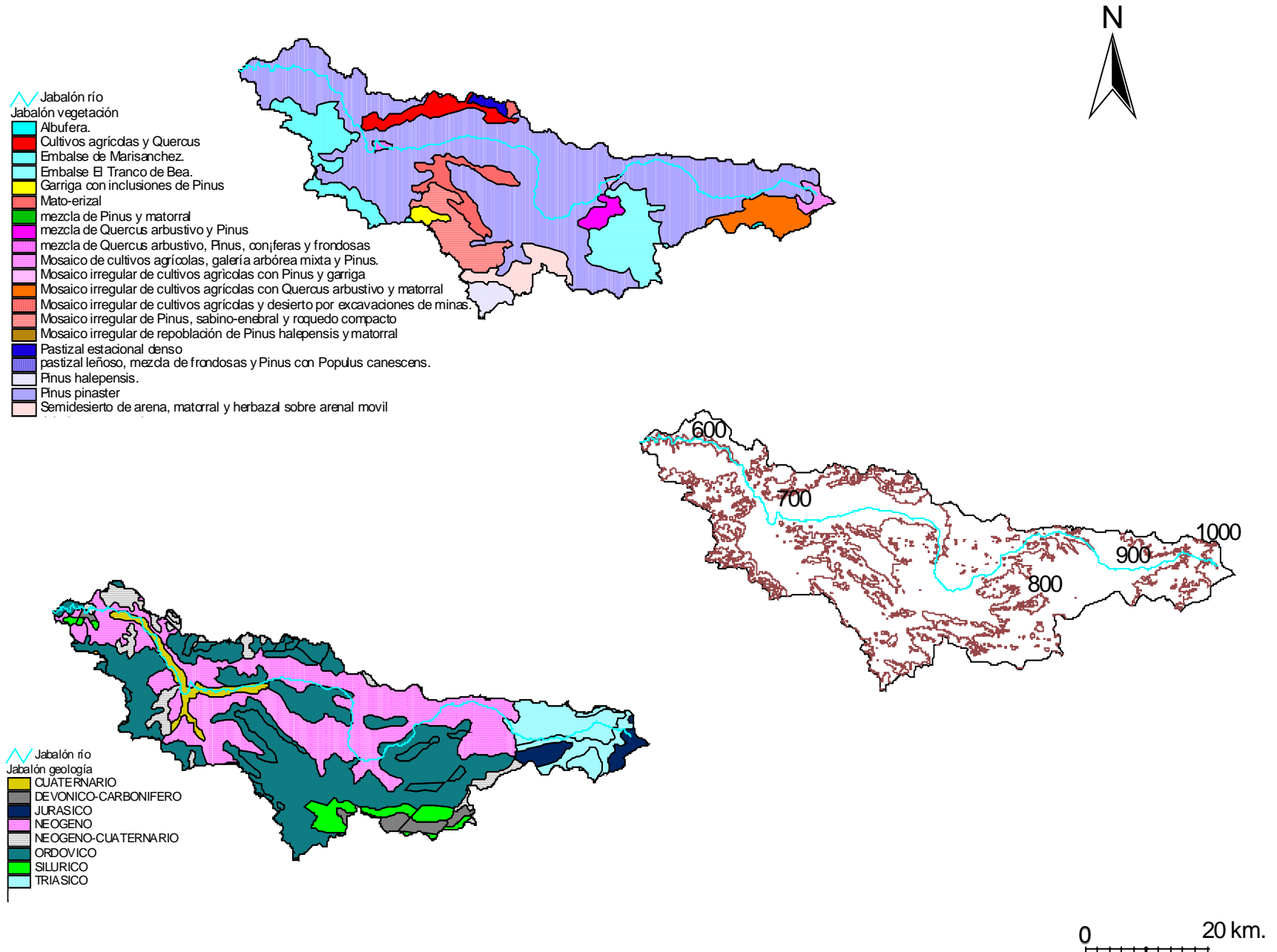


Figura V.9 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Jabalón

# CUENCAS DE LOS RÍOS BAÑUELOS Y BECEA

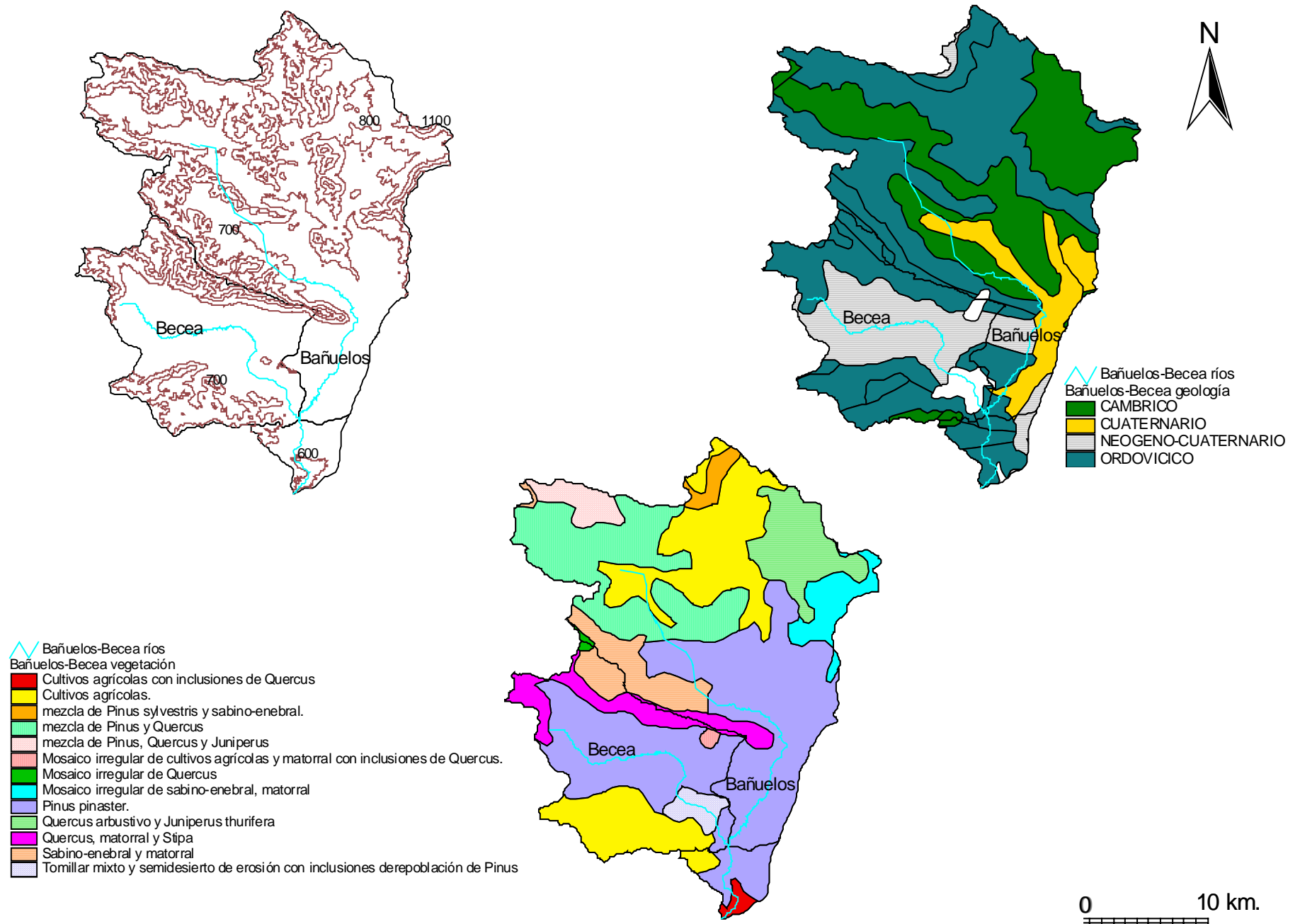
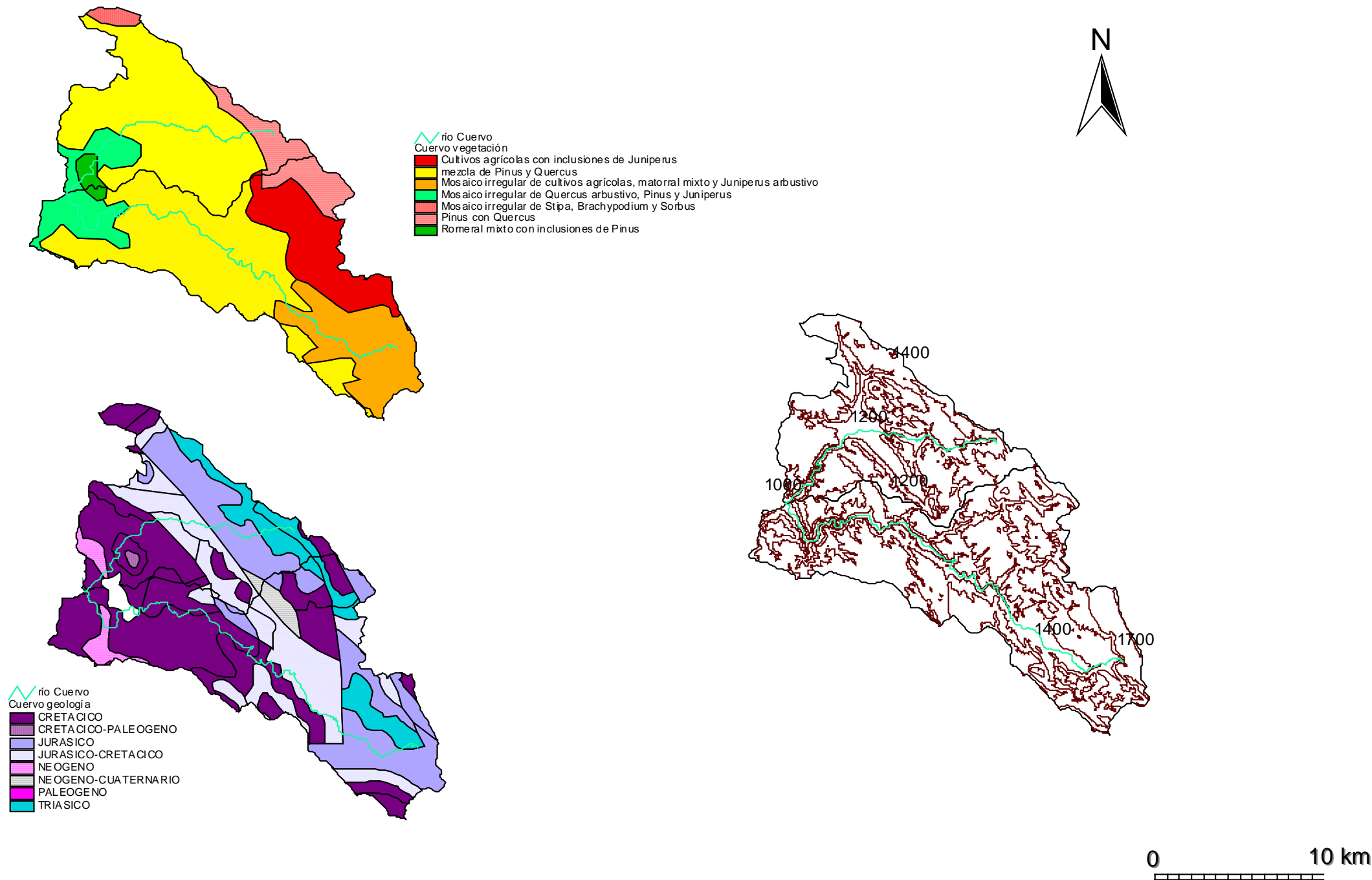


Figura V.10 - vegetación, litología y topografía de la cuenca de los ríos Bañuelos y Becea

## **SUBCUENCAS DEL TAJO**

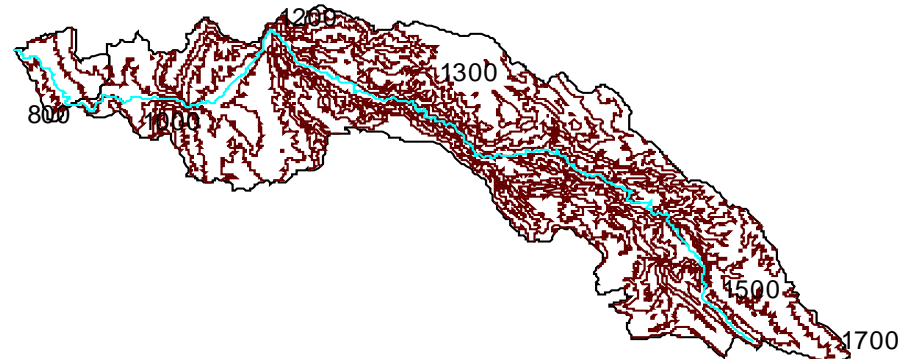
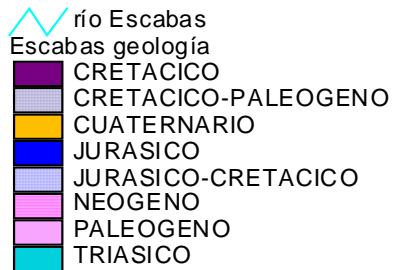
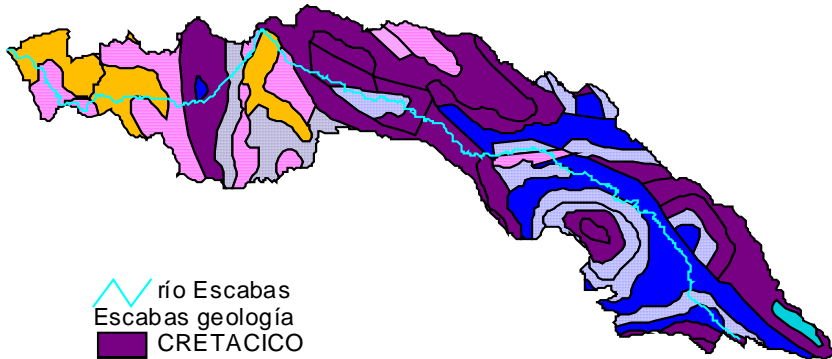
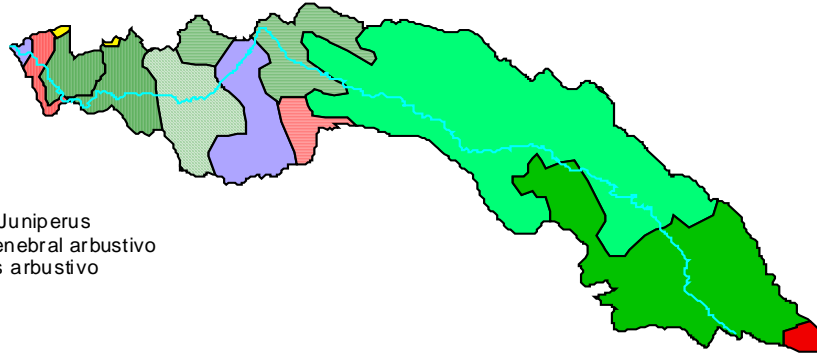
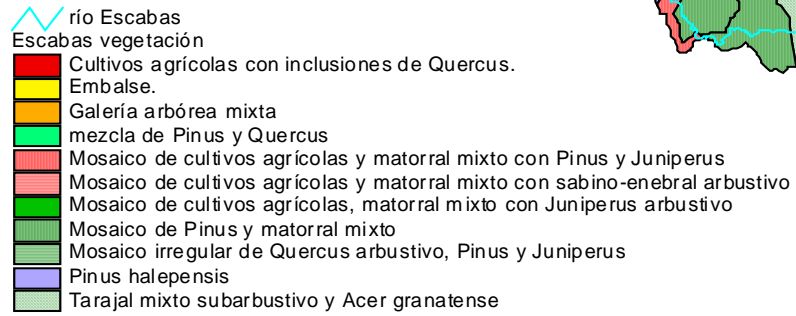
## **SUBCUENCAS DEL ALTO TAJO**

# CUENCA DEL RÍO CUERVO



**Figura V.11** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Cuervo

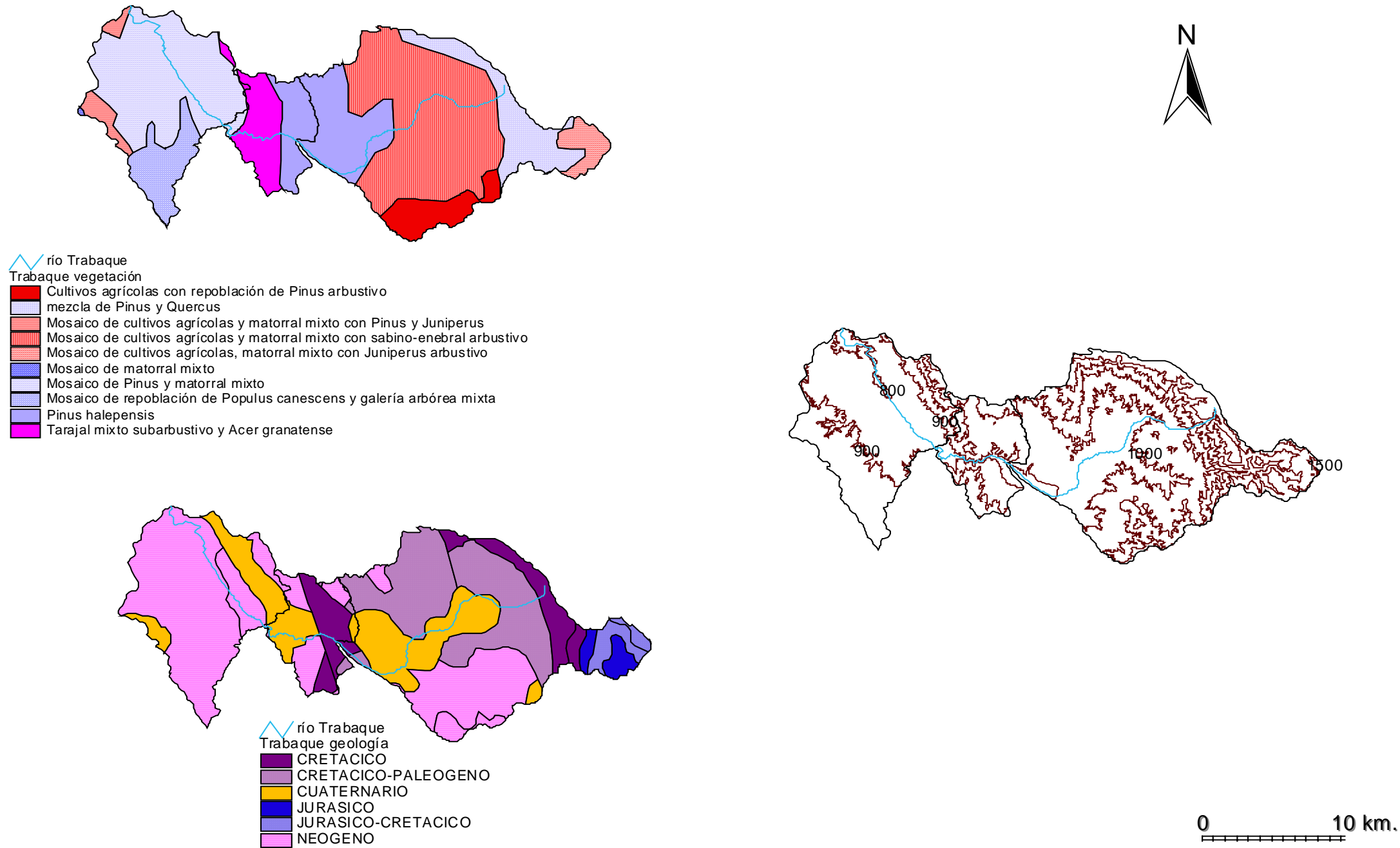
# CUENCA DEL RÍO ESCABAS



0 10 km.

Figura V.12 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Escabas

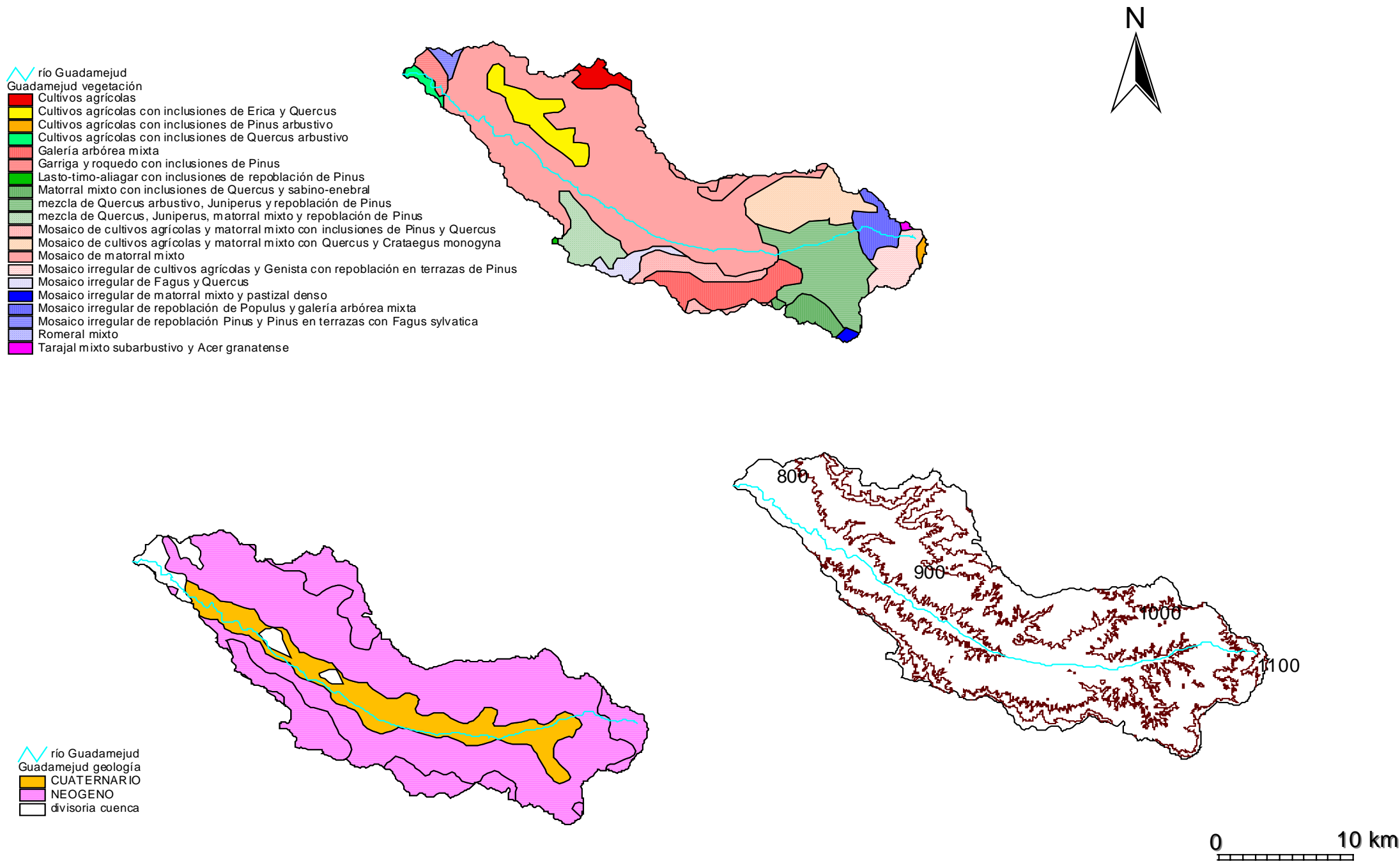
# CUENCA DEL RÍO TRABAQUE



**Figura V.13-** vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Trabaque

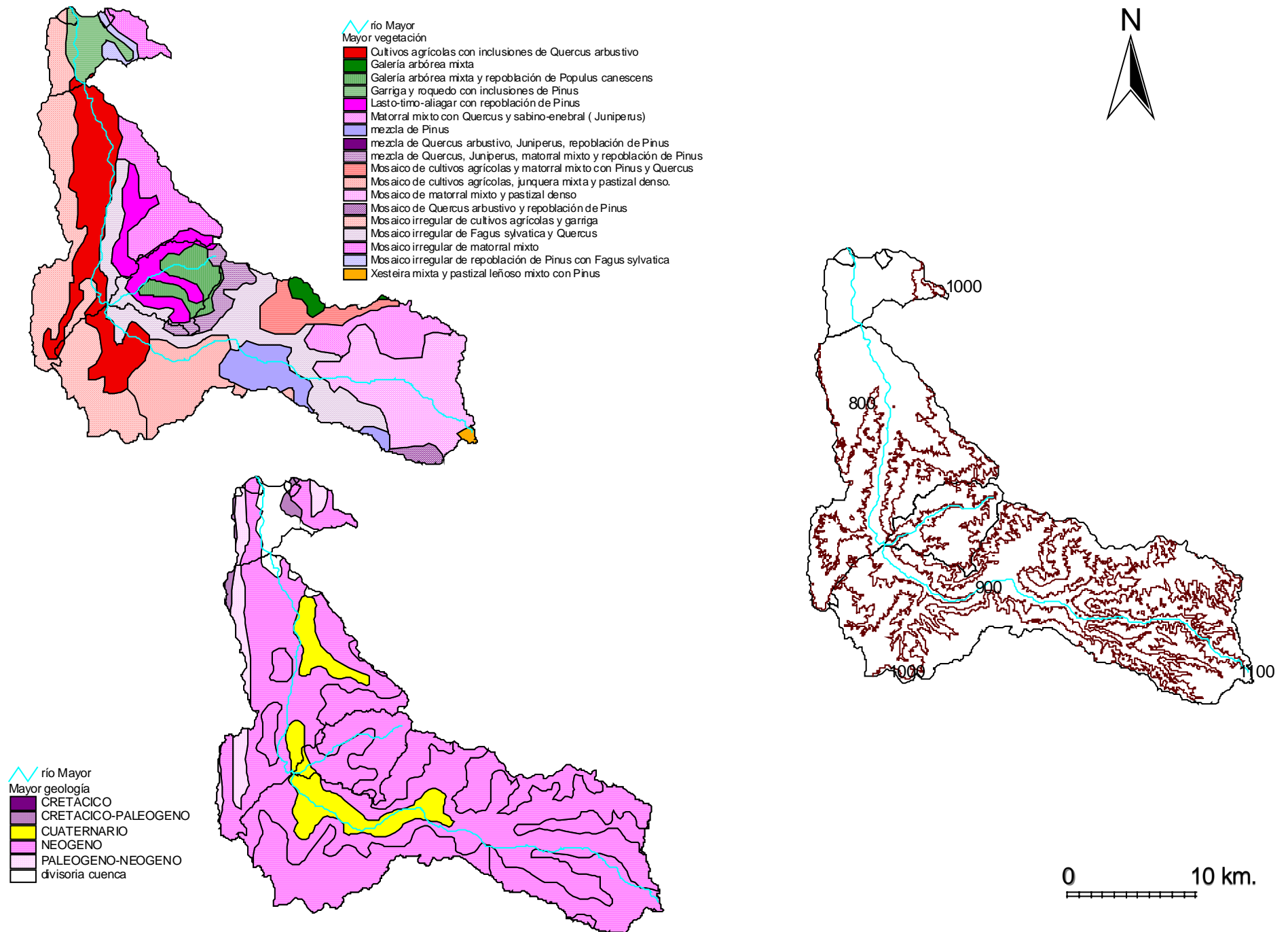


# CUENCA DEL RÍO GUADAMEJUD



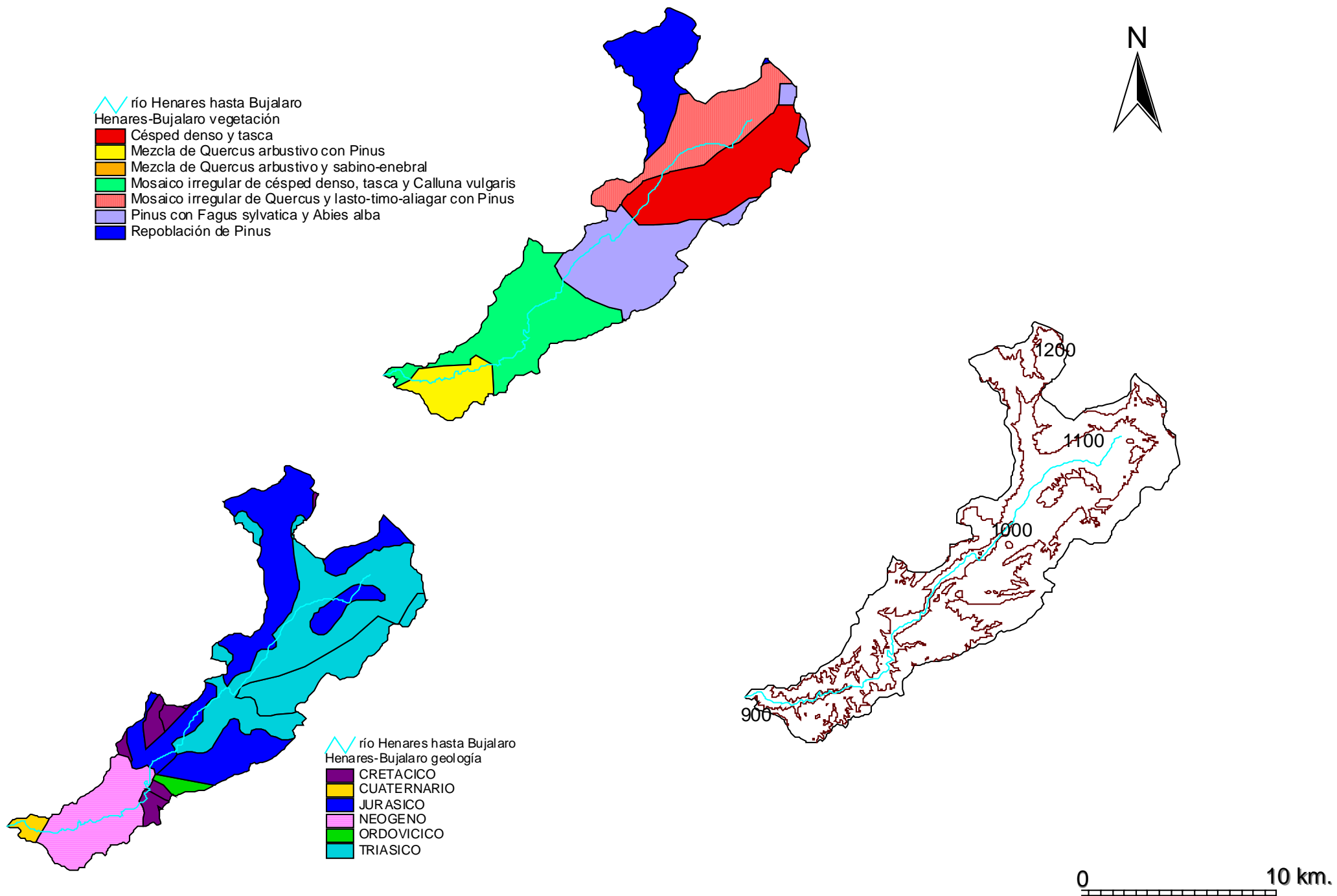
**Figura V.14** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Guadamejud

# CUENCA DEL RÍO MAYOR



**Figura V.15** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Mayor

# CUENCA DEL RÍO HENARES HASTA BUJALARO



**Figura V.16** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Henares hasta Bujalaro

# CUENCA DEL RÍO HENARES

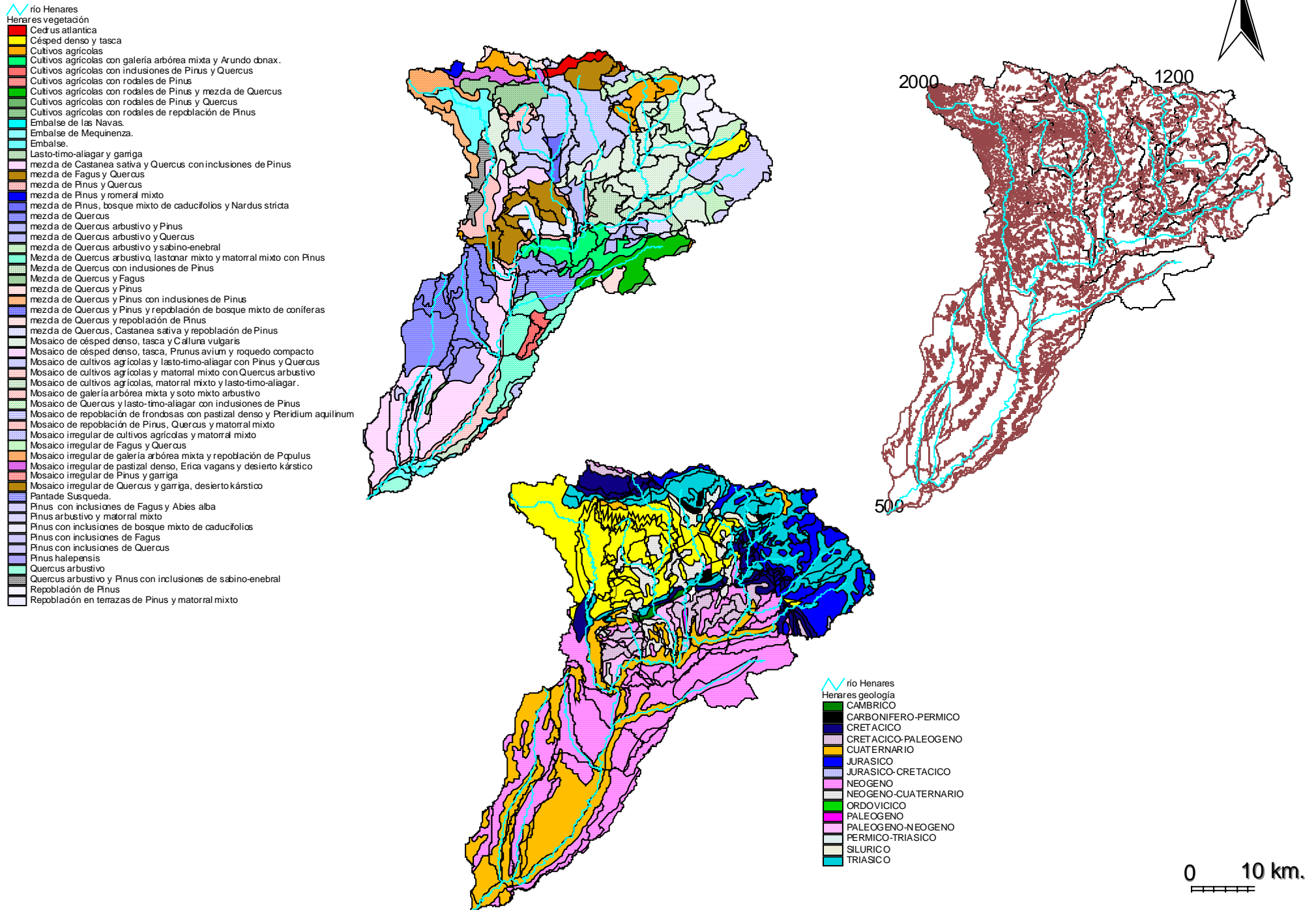
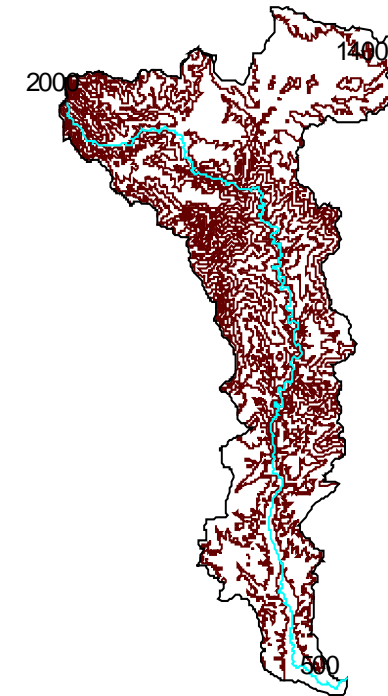
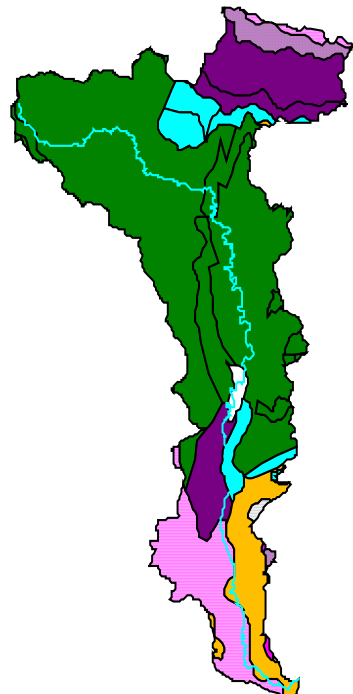
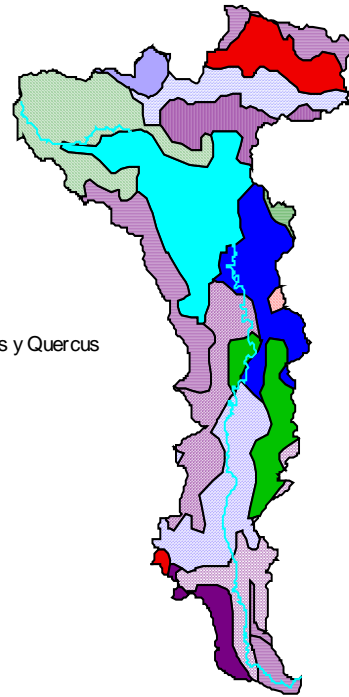
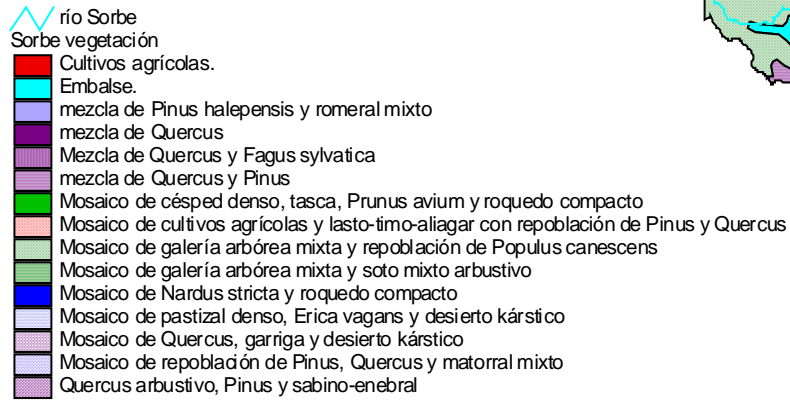


Figura V.17- vegetación, litología y topografía de la cuenca completa del río Henares

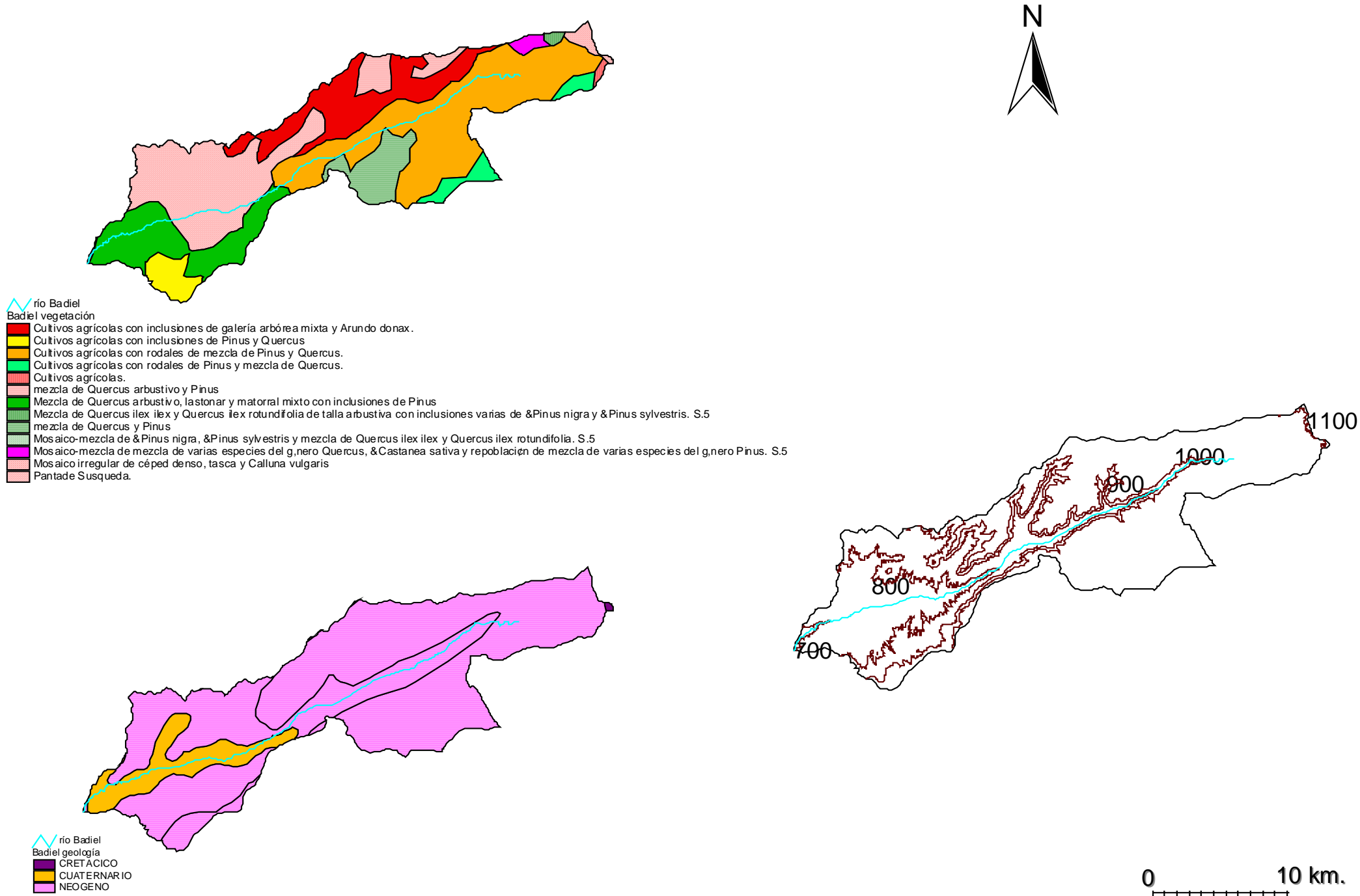
# CUENCA DEL RÍO SORBE



0 10 km.

**Figura V.18** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Sorbe

# CUENCA DEL RÍO BADIEL



**Figura V.19** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Badiel

# CUENCA DEL RÍO BAÑUELOS

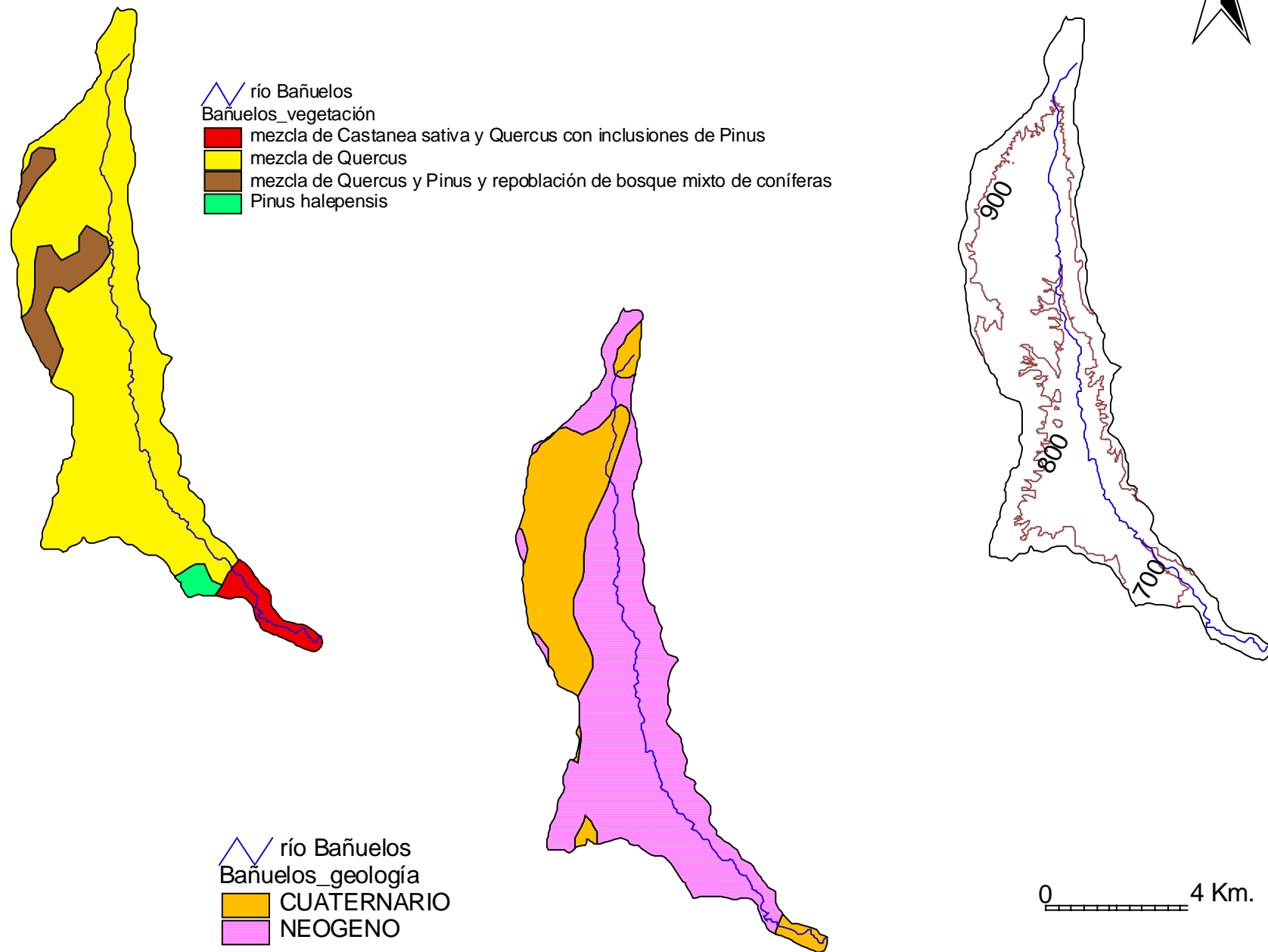
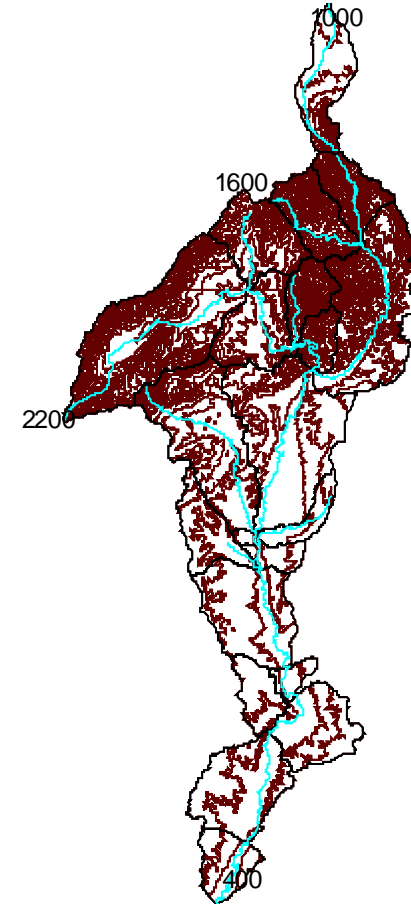
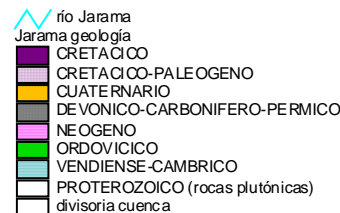
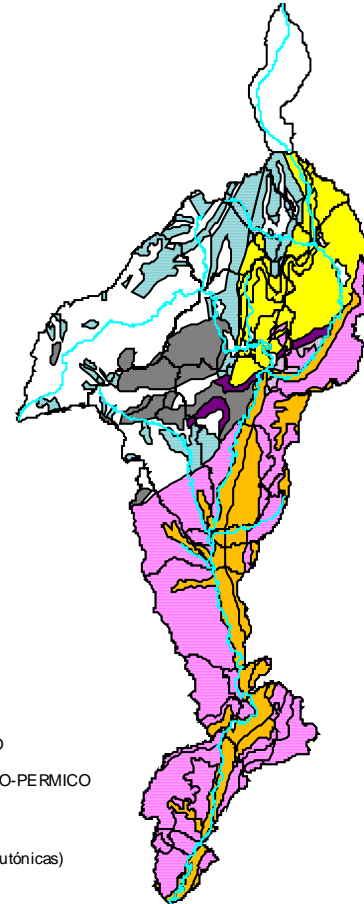
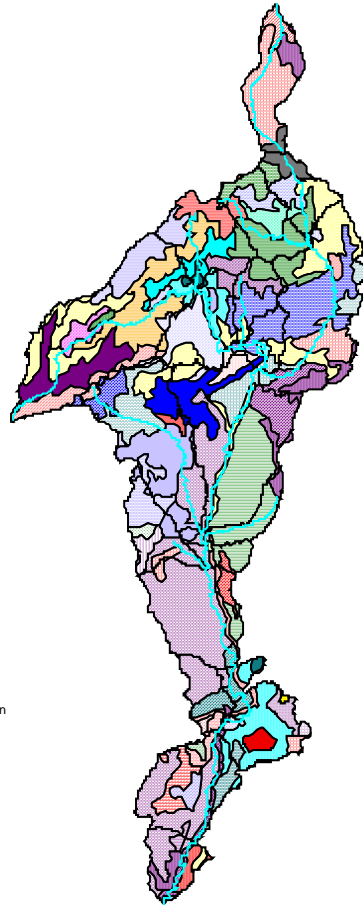


Figura V.20- vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Bañuelos



# CUENCA DEL RÍO JARAMA

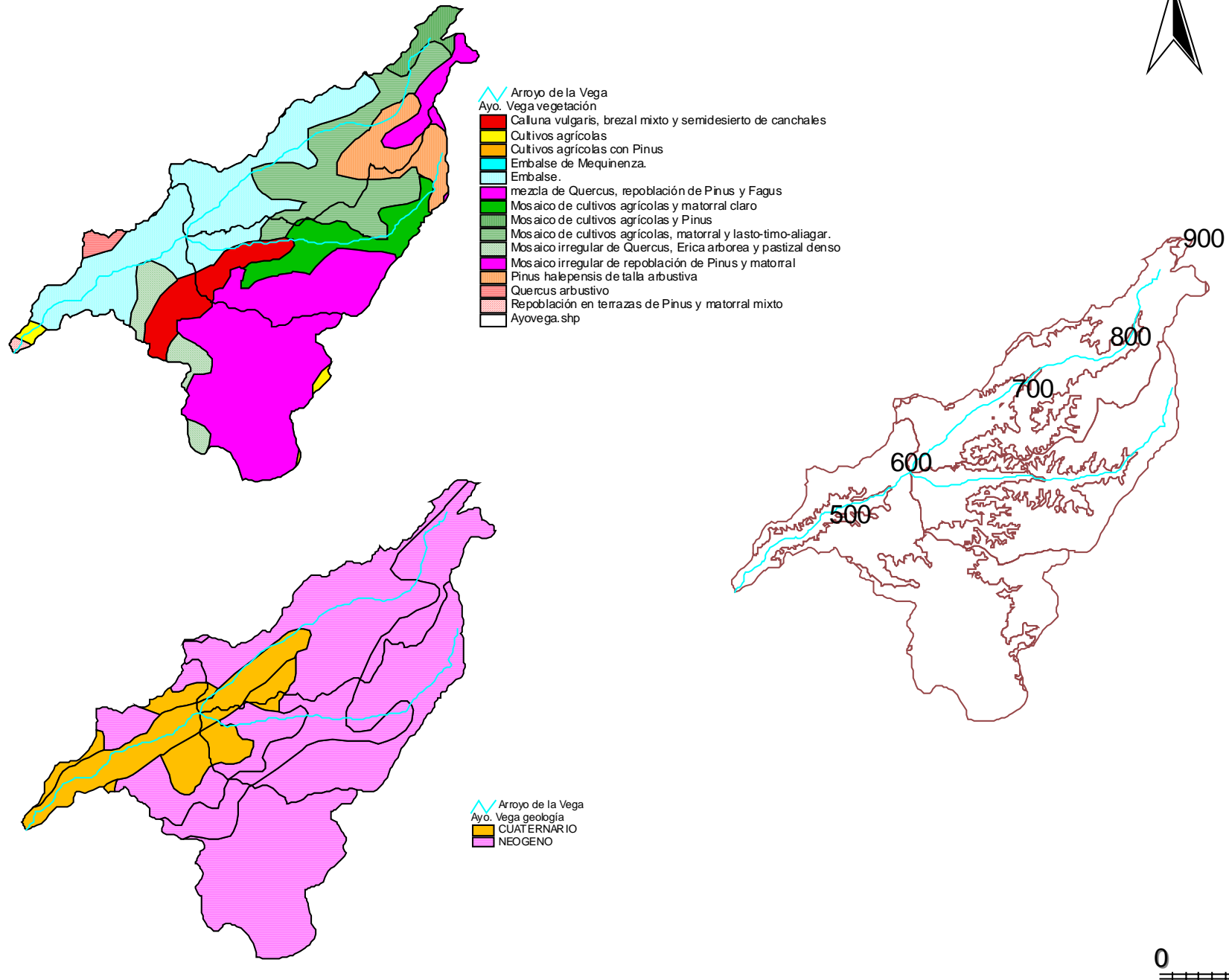


0 10 km.

Figura V.21 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Jarama

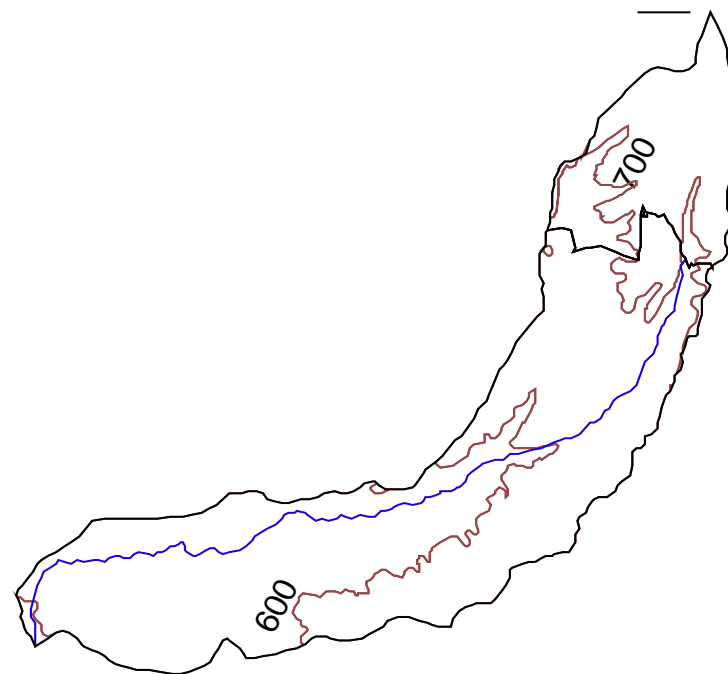
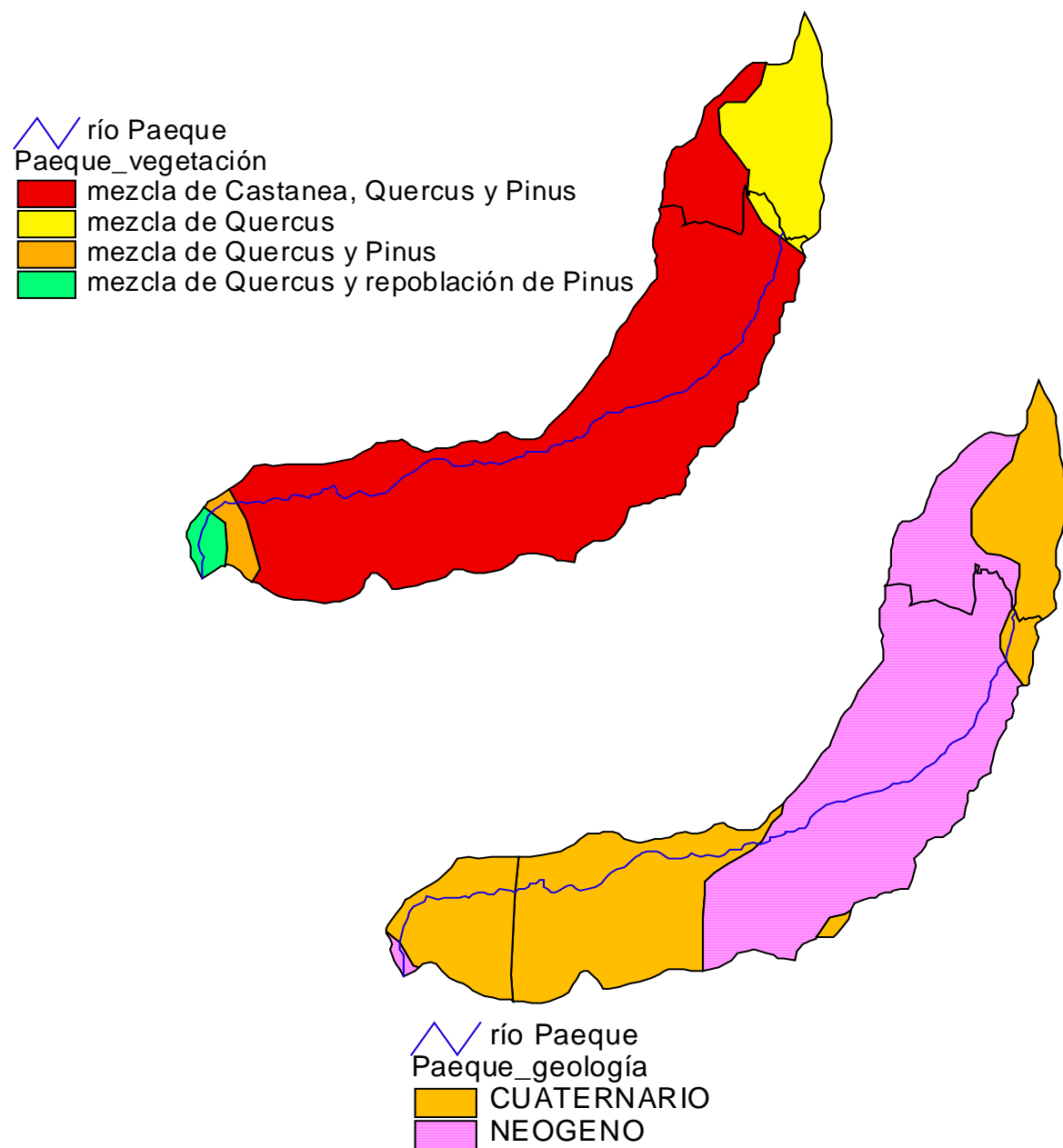


# CUENCA DEL ARROYO DE LA VEGA



**Figura V.22-** vegetación, litología y topografía de la cuenca del arroyo de la Vega

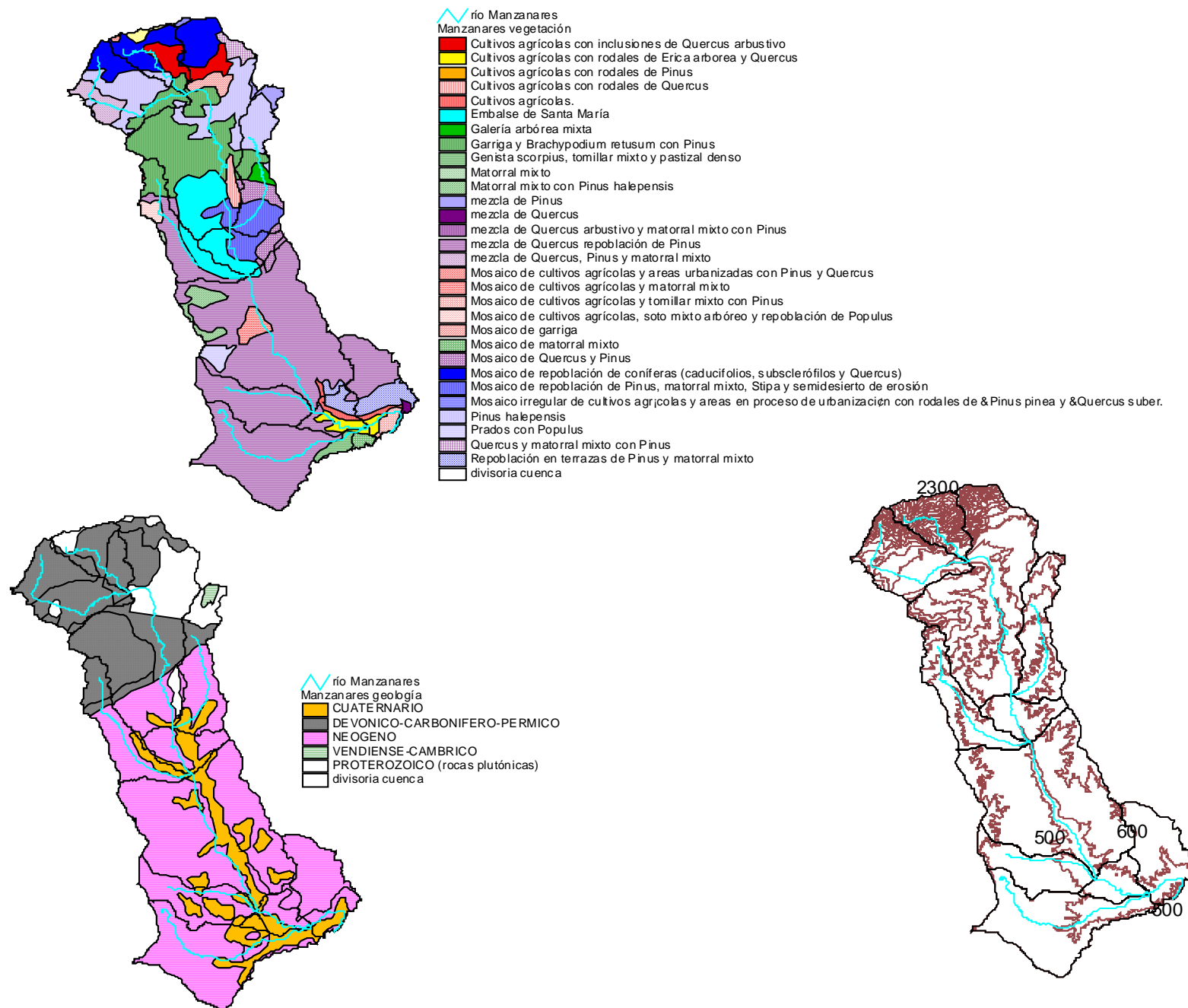
# CUENCA DEL RÍO PAEQUE



0 6 Km.

**Figura V.23** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Paeque

# CUENCA DEL RÍO MANZANARES



0 10 km.

Figura V.24- vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Manzanares

# CUENCA DEL RÍO TAJUÑA

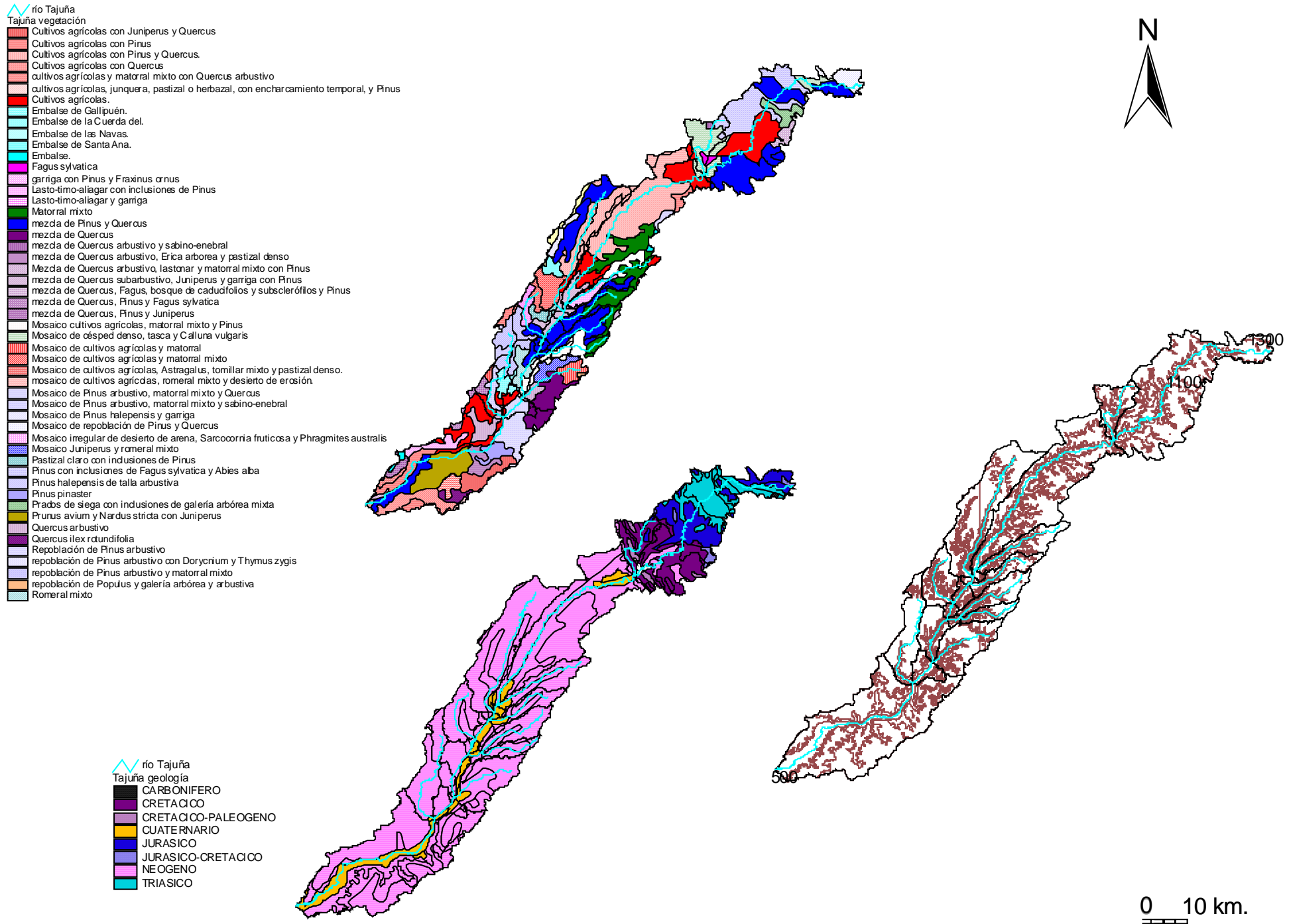
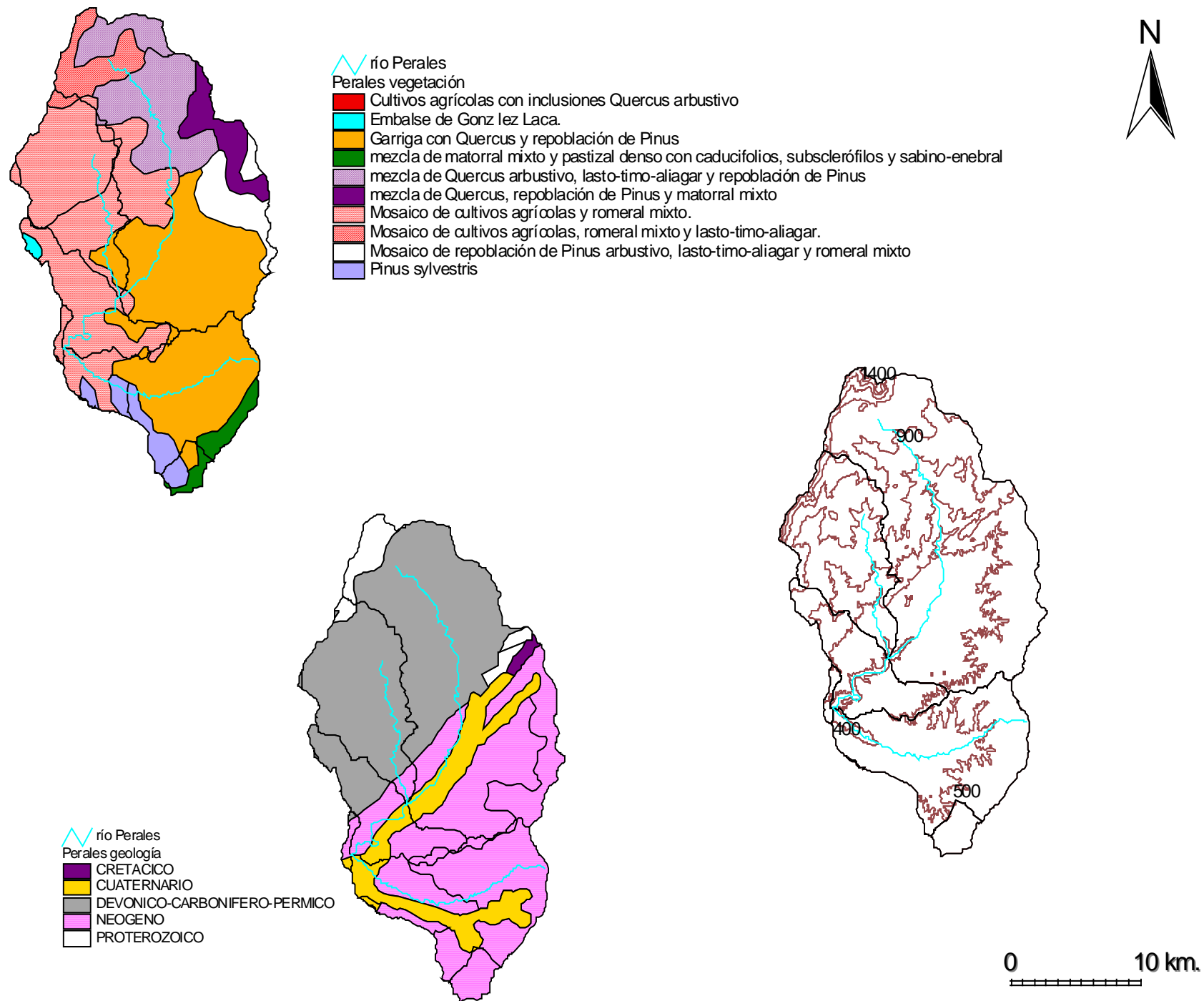


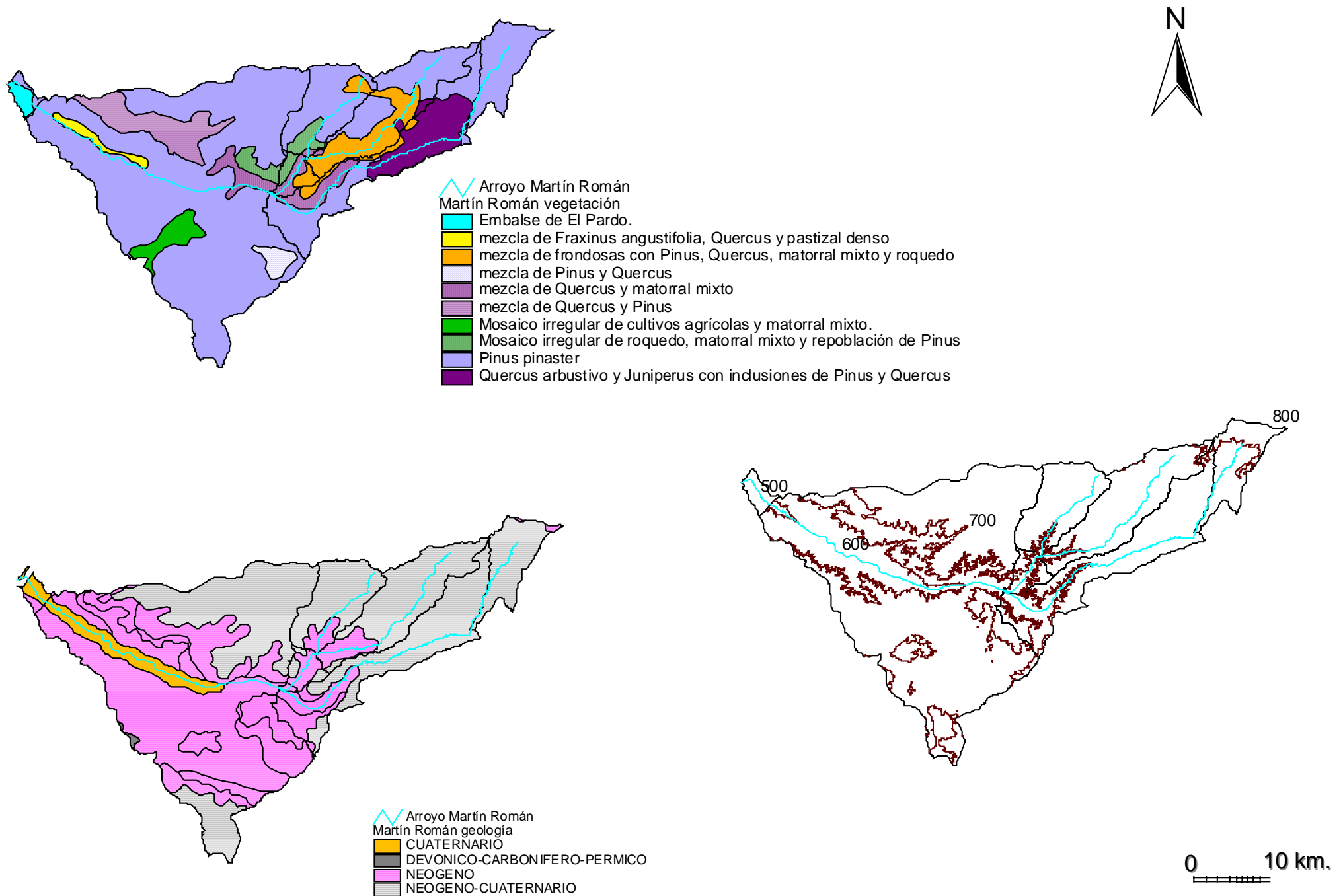
Figura V.25 - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Tajuña

# CUENCA DEL RÍO PERALES



**Figura V.26** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Perales

# CUENCA DEL ARROYO MARTÍN ROMÁN

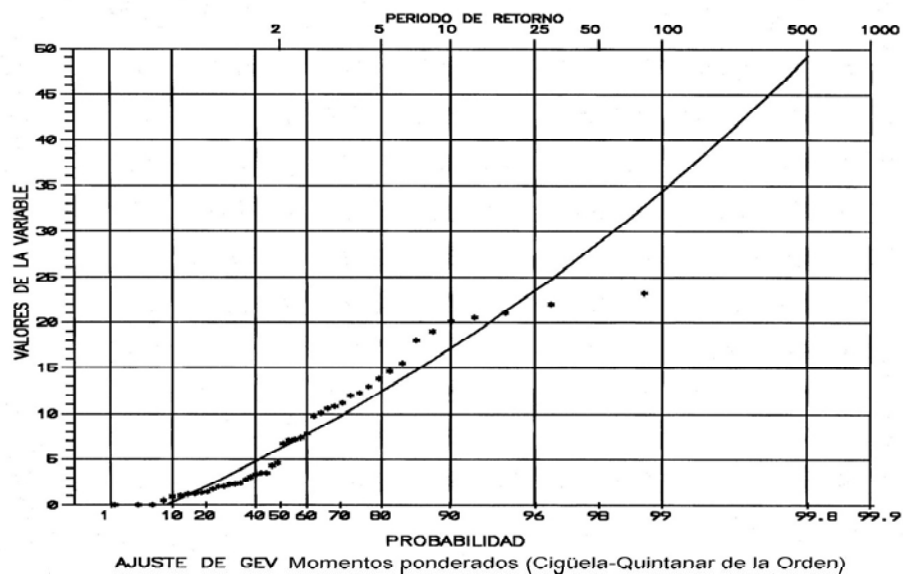
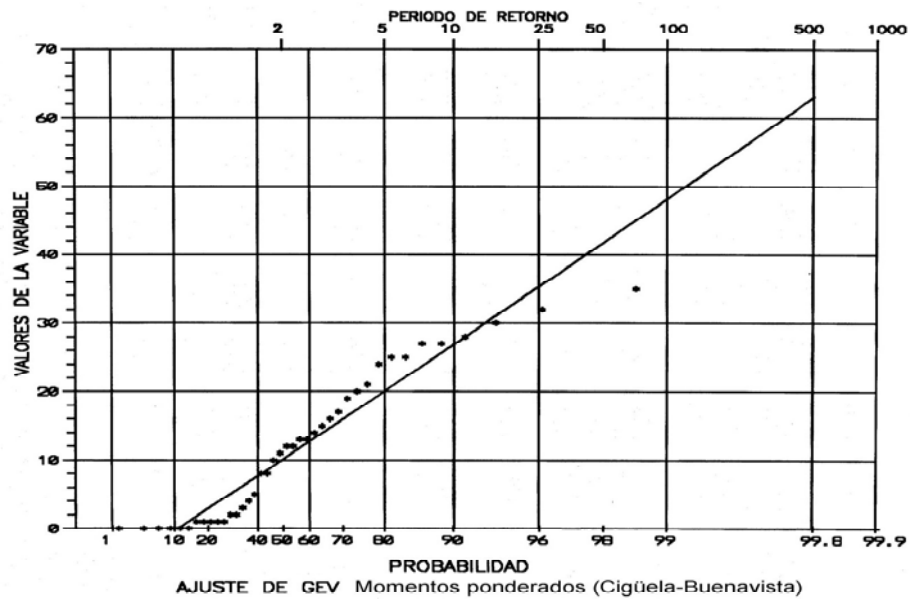
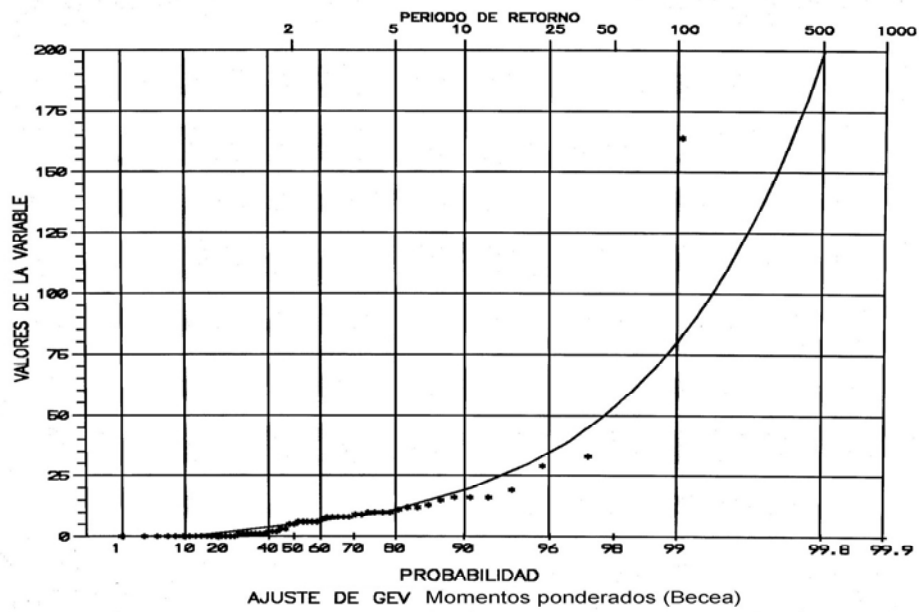


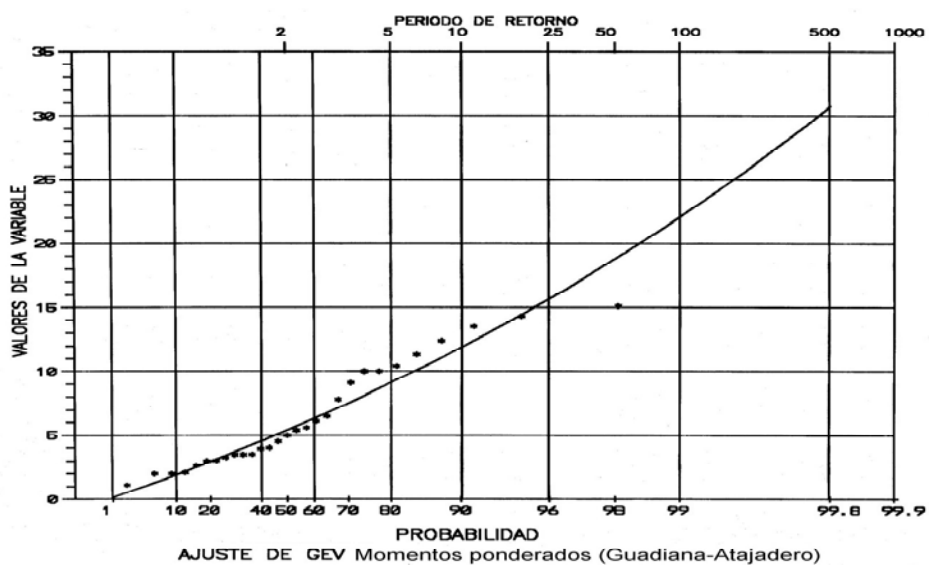
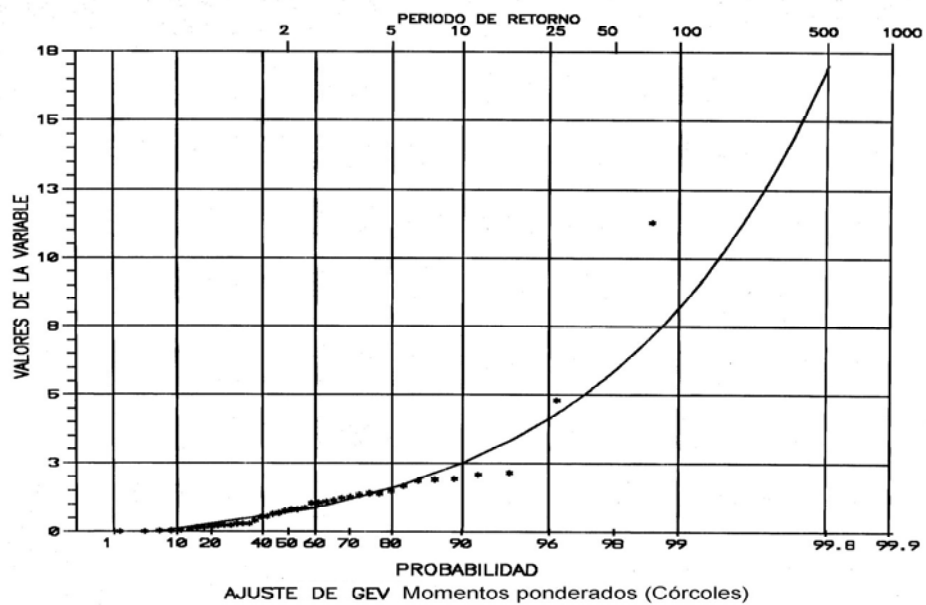
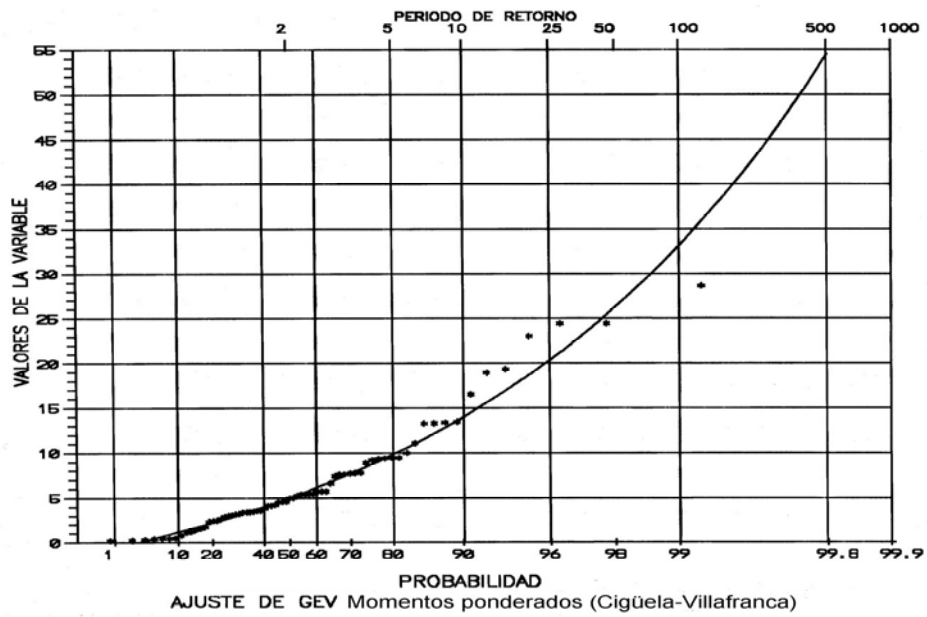
**Figura V.27** - vegetación, litología y topografía de la cuenca del río Martín Román

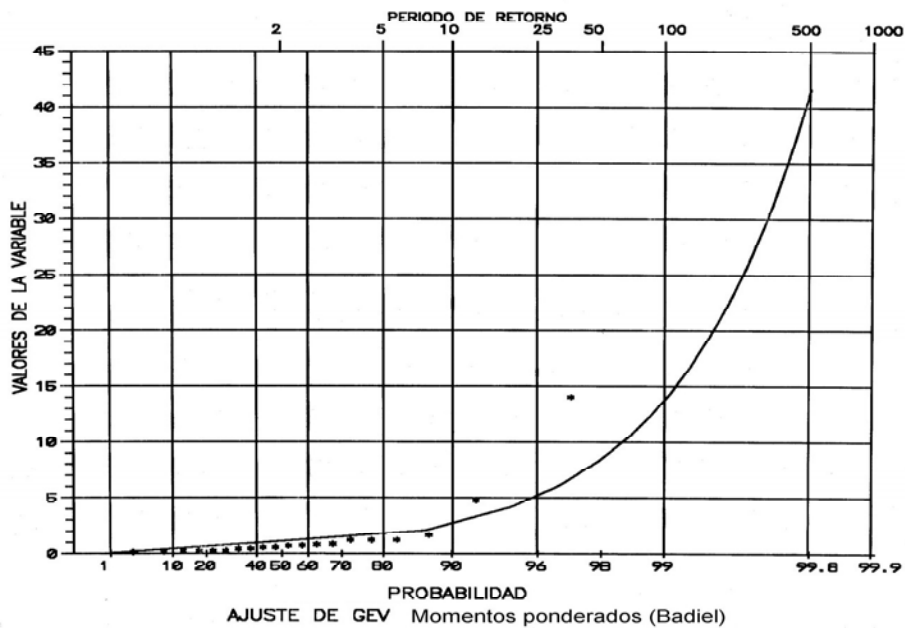
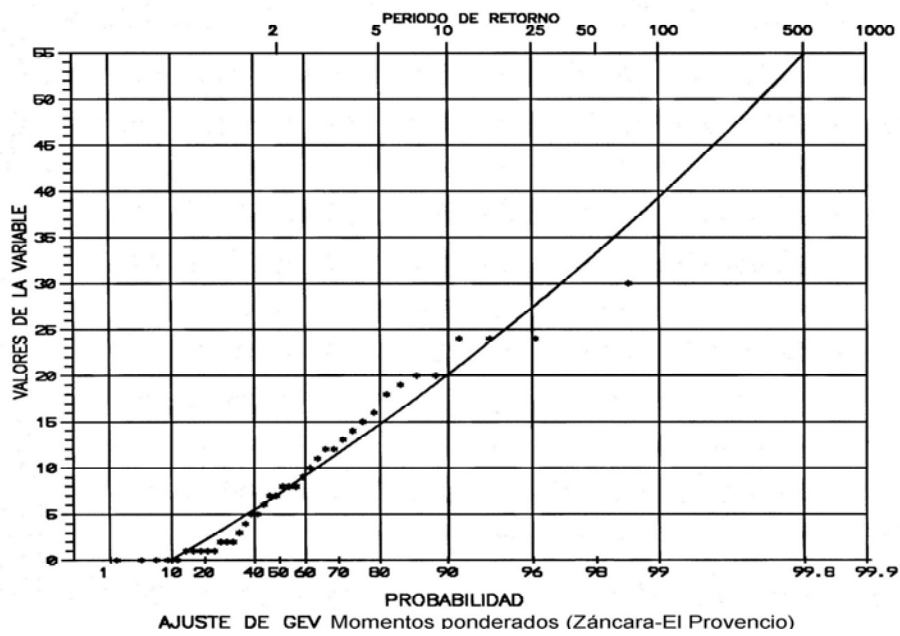
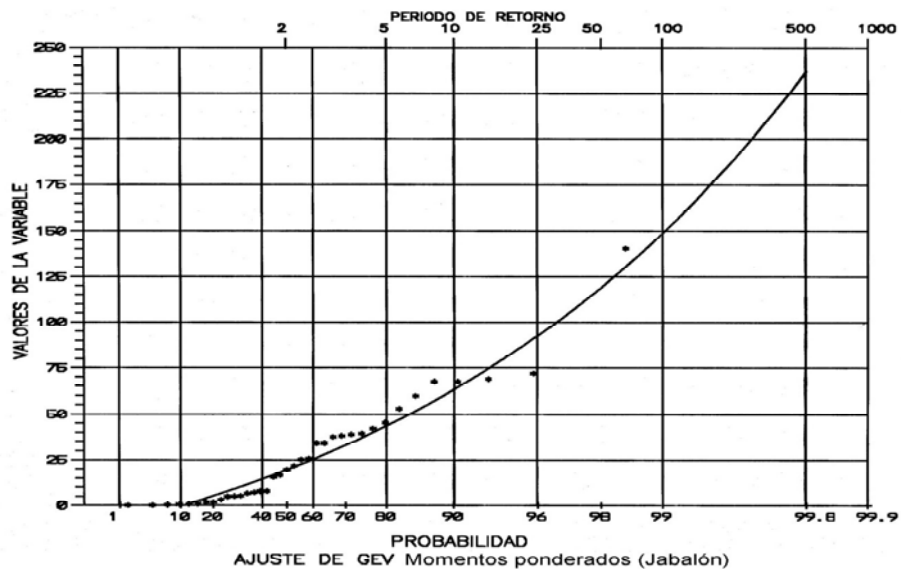
## **SUBCUENCAS DEL JARAMA**

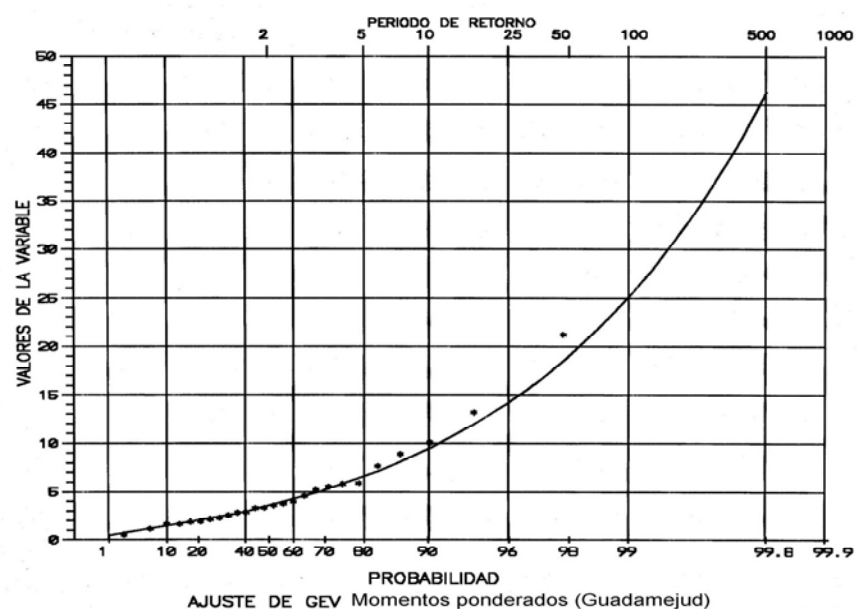
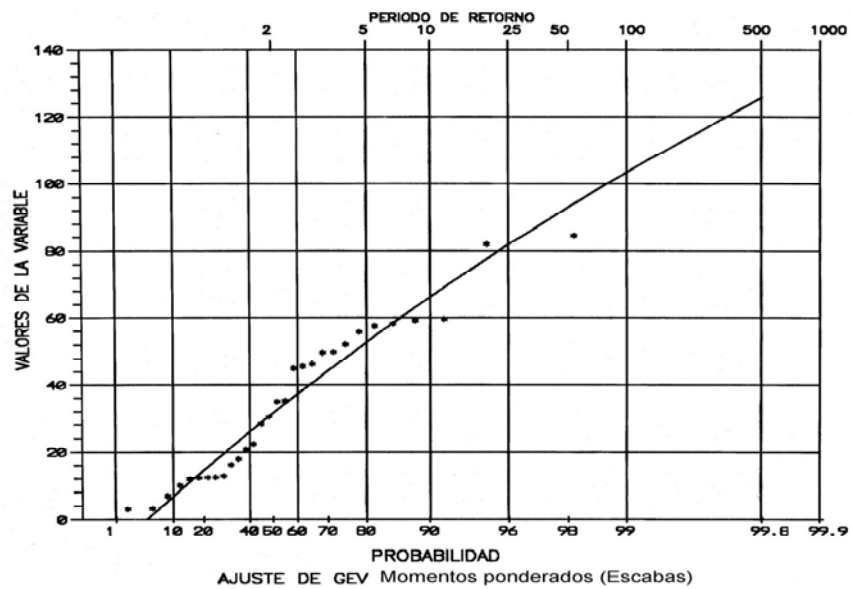
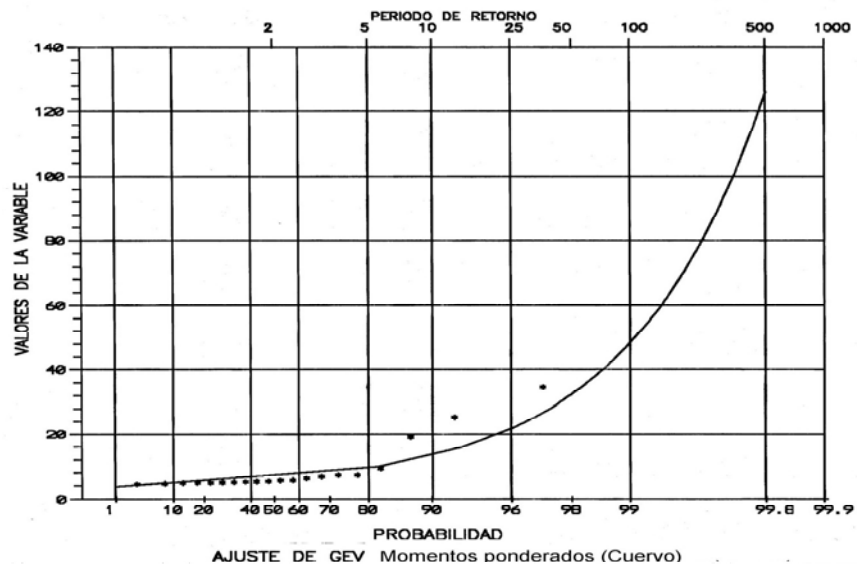
## **SUBCUENCAS DEL HENARES**

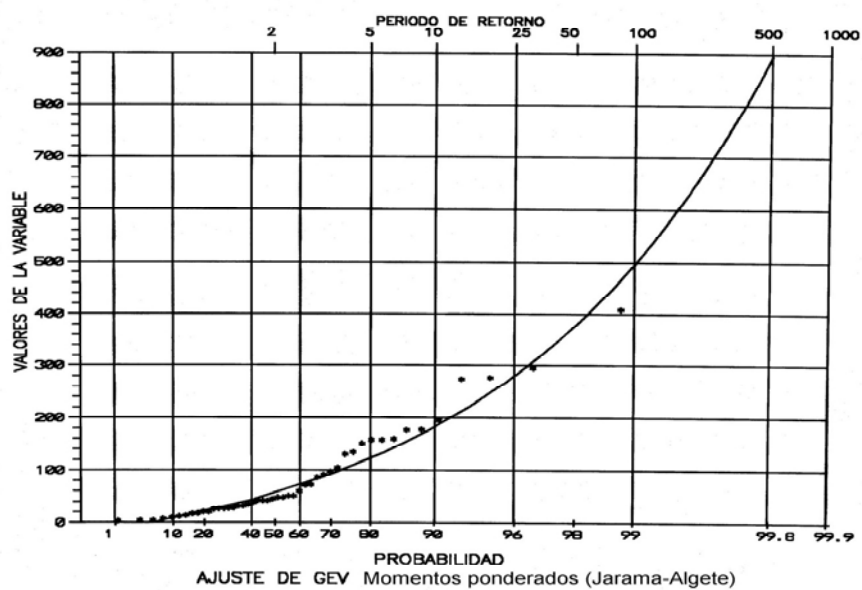
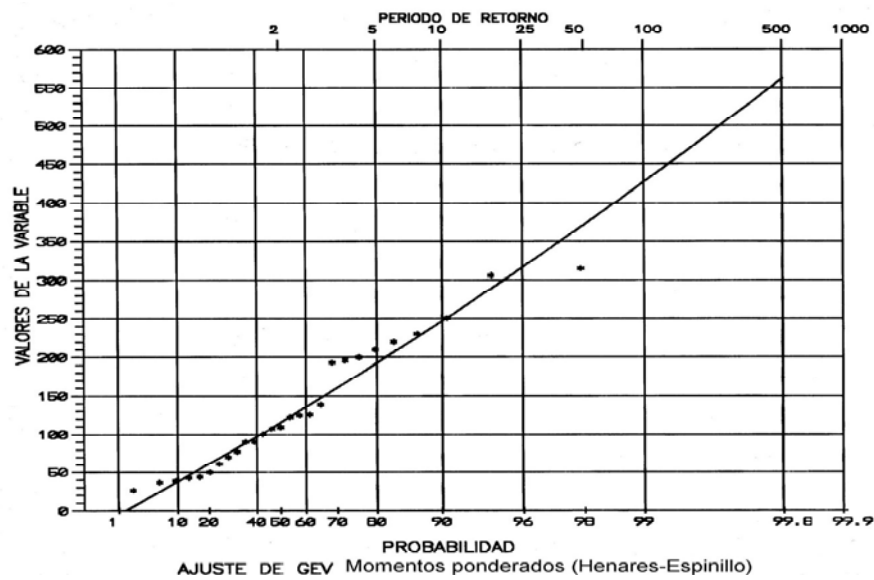
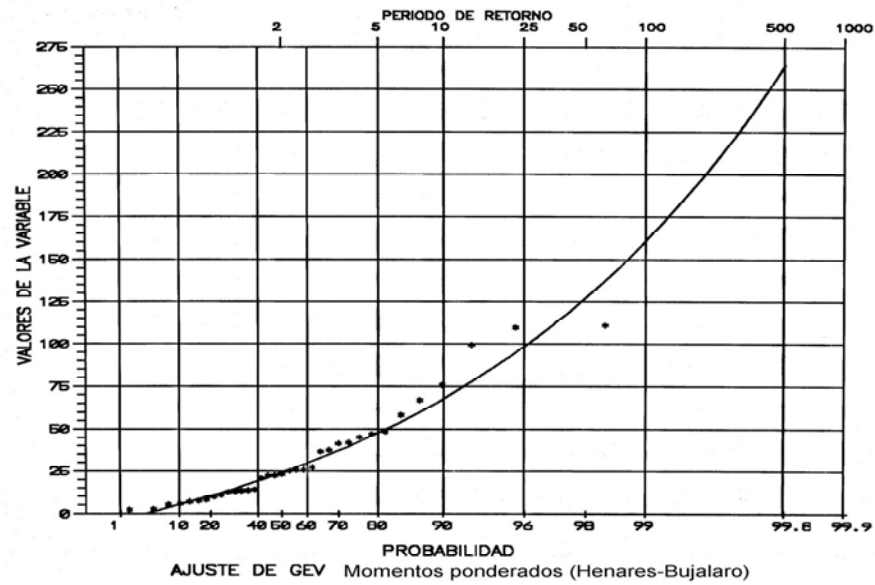


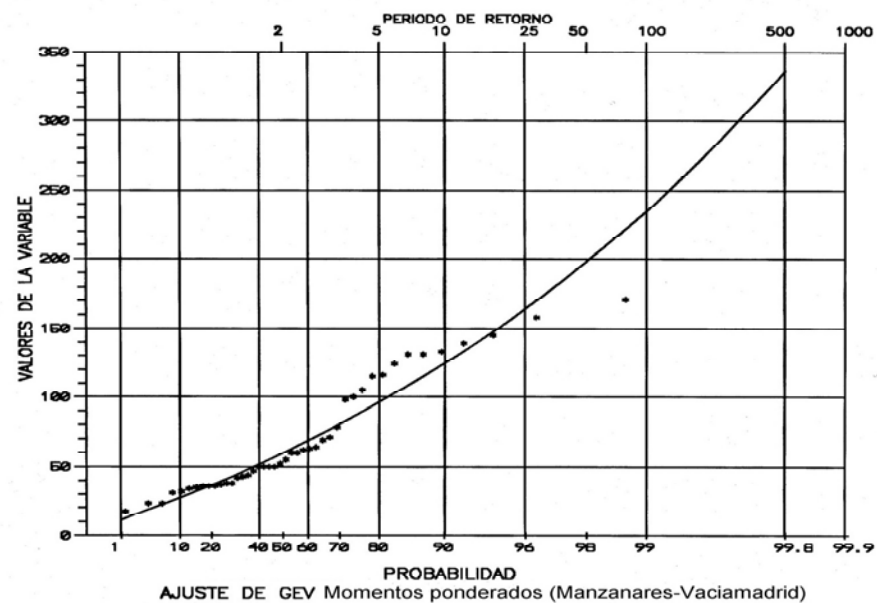
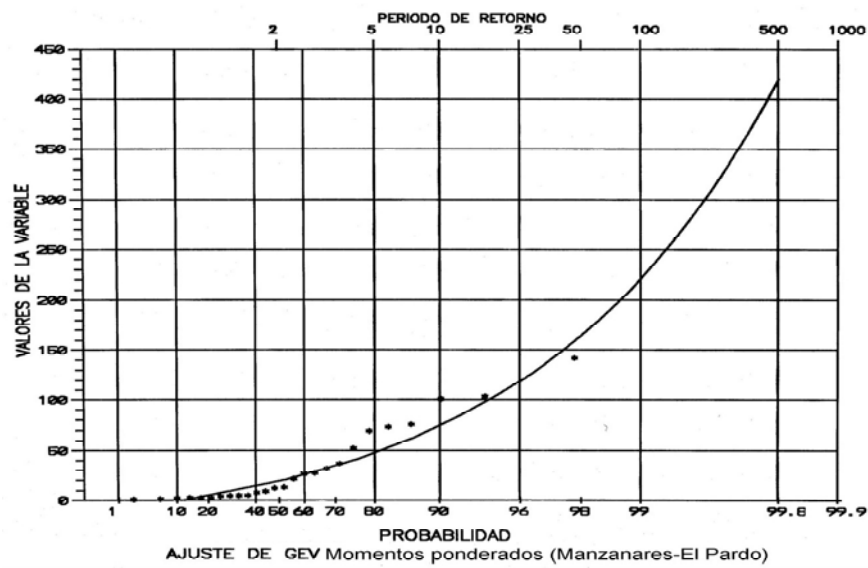
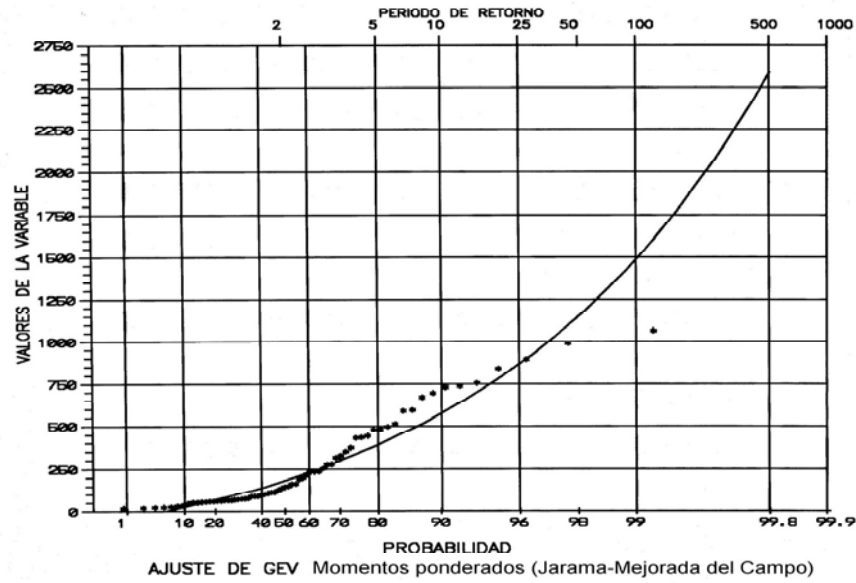


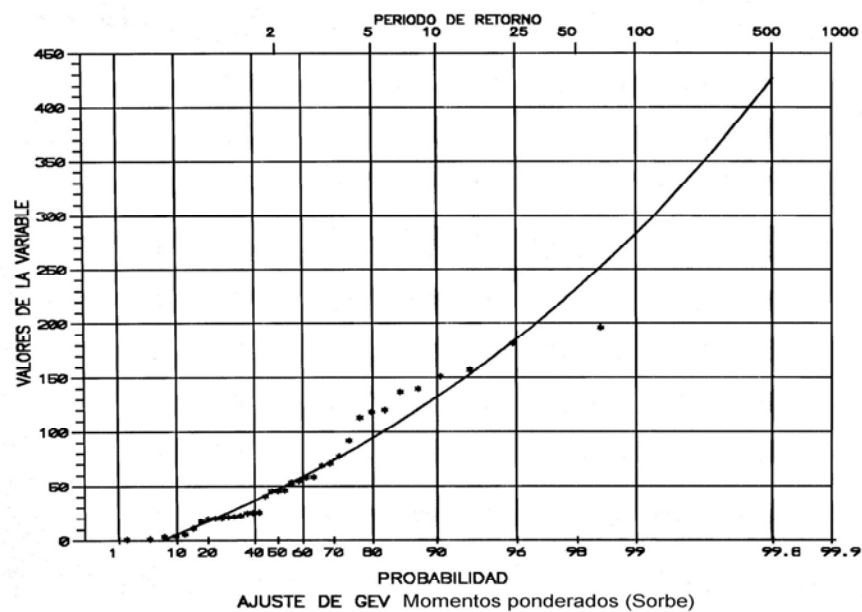
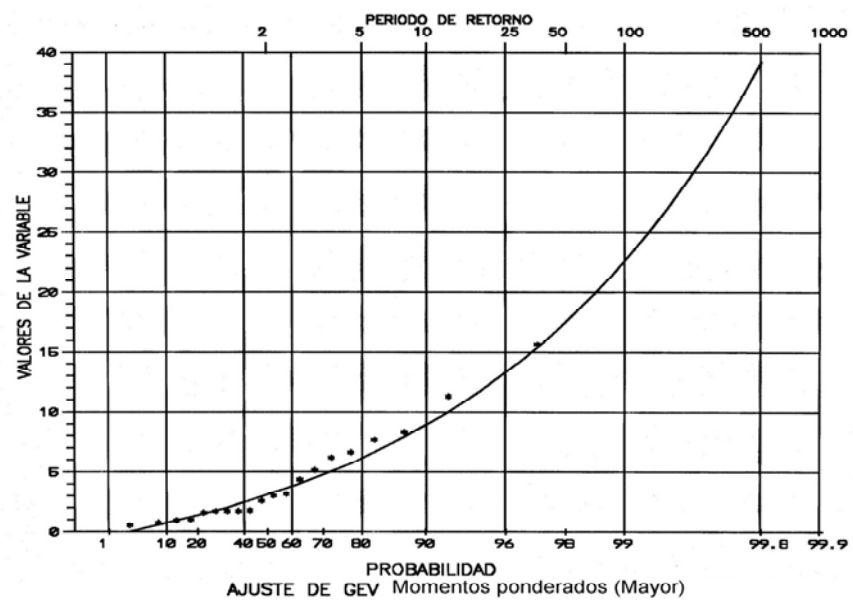
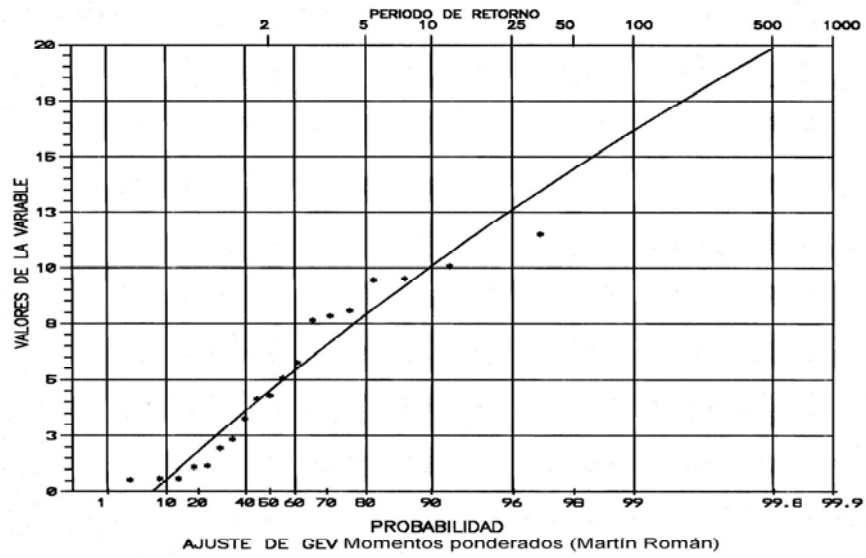


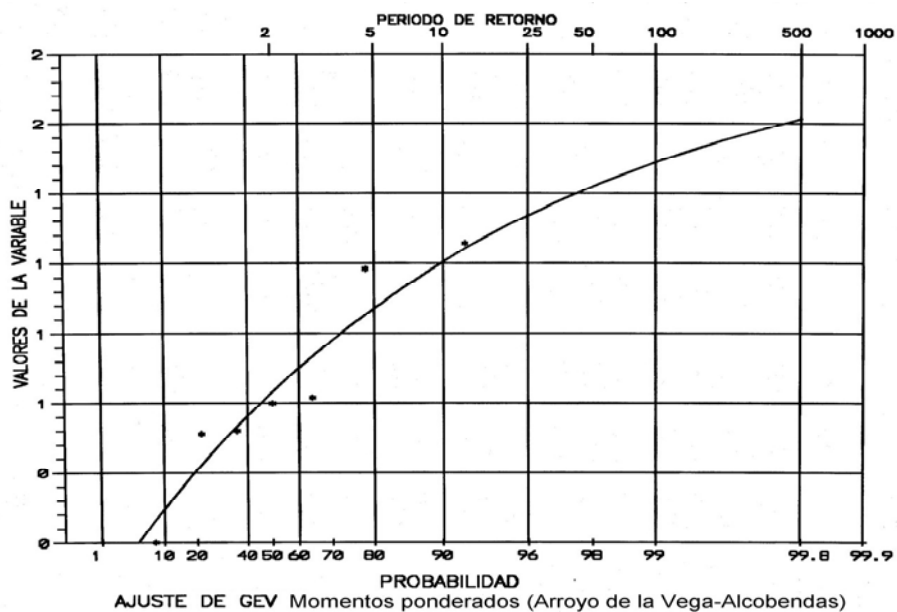
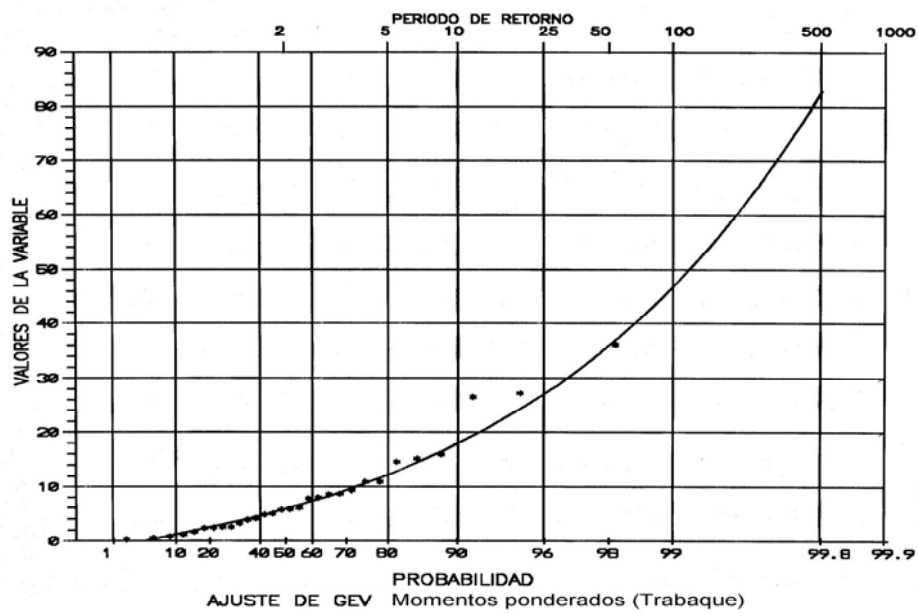
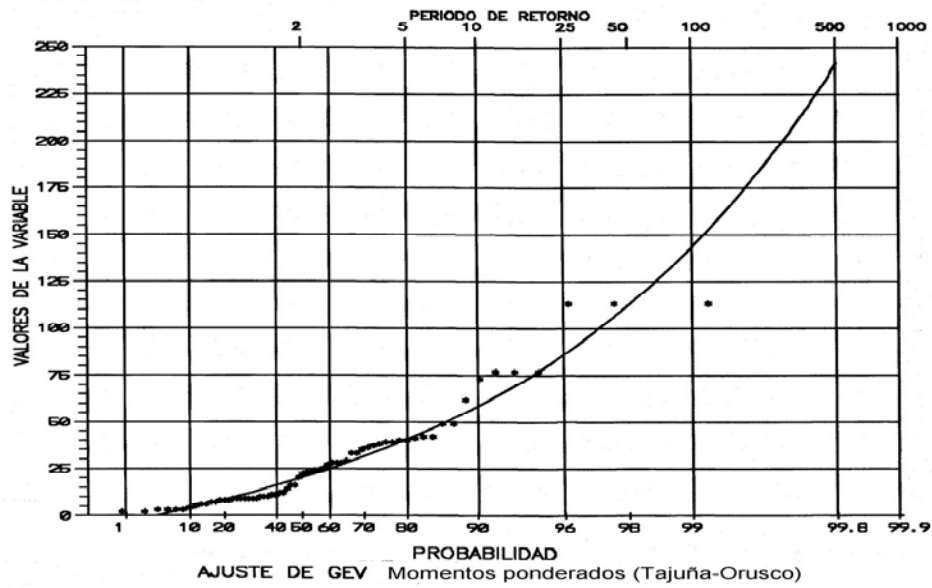














## ANEXO VII

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

#### V.1. ANÁLISIS DE TODAS LAS CUENCAS

##### Multiple Regression Analysis

###### Dependent variable: Q 10

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	38,9935	53,2266	0,732594	0,4719
limper	3,39184	2,56314	1,32331	0,2000
longitud cauce	0,501798	0,147997	3,3906	0,0028
Pb	-1,32862	0,989858	-1,34223	0,1939
relación relieve	1,95866	0,551203	3,55343	0,0019

##### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	15945,3	4	3986,34	4,91	0,0059
Residual	17056,0	21	812,191		
Total (Corr.)	33001,4	25			

R-squared = 48,3173 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 38,4729 percent

Standard Error of Est. = 28,499

Mean absolute error = 19,0815

Durbin-Watson statistic = 2,51944 (P=0,0709)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,285328

##### Multiple Regression Analysis

###### Dependent variable: Q 10

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	39,6266	56,0585	0,706879	0,4882
área cuenca	-0,00696526	0,0145427	-0,478952	0,6374
Elevación cuenca	0,0741047	0,0291369	2,54333	0,0198
Pendiente cauce	-1,09164	1,93007	-0,565595	0,5783
longitud cauce	0,260157	0,410955	0,633054	0,5342
limper	3,83276	2,50469	1,53023	0,1424
Pb 10	-0,983088	1,11965	-0,878032	0,3909

##### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	20360,9	6	3393,48	5,10	0,0028
Residual	12640,5	19	665,289		
Total (Corr.)	33001,4	25			

R-squared = 61,6971 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 49,6014 percent

Standard Error of Est. = 25,7932

Mean absolute error = 14,5106

Durbin-Watson statistic = 2,17716 (P=0,2876)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,140362

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	54,443	59,4305	0,916079	0,3700
limper	5,73674	3,22964	1,77628	0,0902
longitud cauce	0,769445	0,192275	4,00179	0,0006
Pb 25	-1,608	0,925186	-1,73802	0,0969
relación relieve	2,82288	0,687659	4,10506	0,0005

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	33612,9	4	8403,22	6,62	0,0013
Residual	26667,3	21	1269,87		
Total (Corr.)	60280,1	25			

R-squared = 55,7611 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 47,3347 percent

Standard Error of Est. = 35,6352

Mean absolute error = 24,3686

Durbin-Watson statistic = 2,53775 (P=0,0669)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,302978

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	56,0108	60,2585	0,929508	0,3643
área cuenca	-0,0122428	0,0173457	-0,705812	0,4889
elevación cuenca	0,0916852	0,036689	2,49898	0,0218
pendiente cauce	-0,736656	2,44822	-0,300895	0,7668
longitud cauce	0,544449	0,51452	1,05817	0,3032
limper	6,34725	3,15619	2,01105	0,0587
Pb 25	-1,30351	1,00254	-1,30021	0,2091

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	40118,0	6	6686,33	6,30	0,0009
Residual	20162,2	19	1061,17		
Total (Corr.)	60280,1	25			

R-squared = 66,5525 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 55,9901 percent

Standard Error of Est. = 32,5756

Mean absolute error = 17,8617

Durbin-Watson statistic = 2,21889 (P=0,2484)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,171702

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	49,9146	62,1724	0,802842	0,4311
limper	10,2852	4,23711	2,4274	0,0243
longitud cauce	1,29214	0,272378	4,74391	0,0001
Pb 100	-1,61961	0,758008	-2,13667	0,0446
relación relieve	4,69135	0,908476	5,16398	0,0000

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	87907,1	4	21976,8	9,86	0,0001
Residual	46797,6	21	2228,46		
Total (Corr.)	134705,0	25			

R-squared = 65,2591 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 58,6418 percent

Standard Error of Est. = 47,2065

Mean absolute error = 31,8229

Durbin-Watson statistic = 2,61109 (P=0,0478)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,348588

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	46,8144	61,6922	0,758838	0,4573
área cuenca	-0,0178816	0,0217015	-0,82398	0,4202
elevación cuenca	0,124812	0,0492246	2,53556	0,0202
pendiente cauce	0,387972	3,34014	0,116154	0,9087
longitud cauce	1,00784	0,66562	1,51414	0,1464
limper	10,97	4,1435	2,64753	0,0159
Pb 100	-1,27396	0,776223	-1,64123	0,1172

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	97438,5	6	16239,7	8,28	0,0002
Residual	37266,2	19	1961,38		
Total (Corr.)	134705,0	25			

R-squared = 72,3349 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 63,5985 percent

Standard Error of Est. = 44,2875

Mean absolute error = 24,3354

Durbin-Watson statistic = 2,3017 (P=0,1838)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,224684

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-6,16521	64,3083	-0,0958697	0,9245
limper	19,7049	5,95119	3,31108	0,0033
longitud cauce	2,05046	0,408685	5,01721	0,0001
Pb 500	-1,23223	0,57637	-2,13791	0,0444
relación relieve	8,02586	1,28997	6,22172	0,0000

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	244597,0	4	61149,2	13,61	0,0000
Residual	94358,7	21	4493,27		
Total (Corr.)	338956,0	25			

R-squared = 72,1619 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 66,8594 percent

Standard Error of Est. = 67,0319

Mean absolute error = 46,4609

Durbin-Watson statistic = 2,51669 (P=0,0828)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,311532

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-13,6762	71,1178	-0,192304	0,8495
área cuenca	-0,0251725	0,0314505	-0,800383	0,4334
elevación cuenca	0,176111	0,0740446	2,37844	0,0280
pendiente cauce	2,78374	5,08441	0,547506	0,5904
longitud cauce	1,62712	0,952004	1,70915	0,1037
limper	20,4049	6,13579	3,32555	0,0036
Pb 500	-0,863569	0,60298	-1,43217	0,1683

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	253093,0	6	42182,2	9,33	0,0001
Residual	85862,4	19	4519,07		
Total (Corr.)	338956,0	25			

R-squared = 74,6686 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 66,6691 percent

Standard Error of Est. = 67,224

Mean absolute error = 41,7437

Durbin-Watson statistic = 2,17308 (P=0,2857)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,165171

## V.2. ANÁLISIS DE LAS CUENCAS DEL TAJO

### Multiple Regression Analysis

**Dependent variable: Q 10**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-22,9281	47,0229	-0,487595	0,6363
Pb 10	-0,310201	0,890307	-0,34842	0,7347
longitud cauce	0,681472	0,161087	4,23046	0,0017
limper	35,9646	6,80663	5,28376	0,0004
relación relieve	0,427215	0,469338	0,910249	0,3841

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	24228,0	4	6056,99	17,48	0,0002
Residual	3465,85	10	346,585		
Total (Corr.)	27693,8	14			

R-squared = 87,4851 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 82,4792 percent

Standard Error of Est. = 18,6168

Mean absolute error = 12,9147

Durbin-Watson statistic = 2,73704 (P=0,0699)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,433044

### Multiple Regression Analysis

**Dependent variable: Q 10**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-11,8983	44,0774	-0,26994	0,7940
Pb 10	0,0442545	0,904555	0,048924	0,9622
longitud cauce	0,341936	0,501325	0,682064	0,5145
limper	36,8397	7,07147	5,20963	0,0008
área cuenca	-0,0119011	0,0244303	-0,487145	0,6392
pendiente cauce	-2,7835	1,49513	-1,86171	0,0997
elevación cuenca	0,0559991	0,0232387	2,40974	0,0425

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	25792,7	6	4298,79	18,09	0,0003
Residual	1901,09	8	237,636		
Total (Corr.)	27693,8	14			

R-squared = 93,1353 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 87,9868 percent

Standard Error of Est. = 15,4154

Mean absolute error = 7,27558

Durbin-Watson statistic = 2,57186 (P=0,1371)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,321071

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-26,5918	49,9839	-0,532008	0,6063
Pb 25	-0,486371	0,797356	-0,60998	0,5555
longitud cauce	0,991898	0,213007	4,65665	0,0009
limper	44,5662	8,76746	5,08314	0,0005
relación relieve	0,953484	0,608267	1,56754	0,1481

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	44566,6	4	11141,6	19,66	0,0001
Residual	5666,89	10	566,689		
Total (Corr.)	50233,4	14			

R-squared = 88,7189 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 84,2065 percent

Standard Error of Est. = 23,8052

Mean absolute error = 17,0988

Durbin-Watson statistic = 2,8146 (P=0,0516)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,476343

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-20,3971	47,4932	-0,429474	0,6789
Pb 25	0,077836	0,836332	0,0930683	0,9281
longitud cauce	0,310865	0,677838	0,458613	0,6587
limper	44,3123	9,32622	4,75137	0,0014
área cuenca	-0,00297	0,0322013	-0,0921258	0,9289
elevación cuenca	0,0765831	0,0308839	2,47971	0,0381
pendiente cauce	-3,08018	2,00567	-1,53574	0,1632

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	46914,4	6	7819,06	18,85	0,0003
Residual	3319,07	8	414,884		
Total (Corr.)	50233,4	14			

R-squared = 93,3927 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 88,4372 percent

Standard Error of Est. = 20,3687

Mean absolute error = 9,95713

Durbin-Watson statistic = 2,70518 (P=0,0831)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,412511

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-42,3703	54,3607	-0,779428	0,4538
Pb 100	-0,64056	0,685329	-0,934674	0,3720
longitud cauce	1,59228	0,313529	5,07859	0,0005
limper	55,4832	12,7555	4,34973	0,0014
relación relieve	2,42635	0,914233	2,65397	0,0241

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	98391,4	4	24597,8	20,30	0,0001
Residual	12116,3	10	1211,63		
Total (Corr.)	110508,0	14			

R-squared = 89,0358 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 84,6501 percent

Standard Error of Est. = 34,8085

Mean absolute error = 24,9293

Durbin-Watson statistic = 2,71001 (P=0,0855)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,435266

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-33,008	56,2628	-0,586676	0,5736
Pb 100	0,0340523	0,764185	0,0445603	0,9655
longitud cauce	0,196211	1,05888	0,185301	0,8576
limper	51,6331	14,9976	3,44276	0,0088
área cuenca	0,0209533	0,0506614	0,413595	0,6900
elevación cuenca	0,114429	0,0488767	2,34118	0,0473
pendiente cauce	-2,77761	3,25901	-0,852288	0,4188

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	101898,0	6	16982,9	15,78	0,0005
Residual	8610,08	8	1076,26		
Total (Corr.)	110508,0	14			

R-squared = 92,2086 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 86,3651 percent

Standard Error of Est. = 32,8064

Mean absolute error = 17,5866

Durbin-Watson statistic = 2,57919 (P=0,1477)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,426461

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-81,4276	68,4418	-1,18974	0,2616
Pb 500	-0,713819	0,654228	-1,09109	0,3008
longitud cauce	2,57157	0,521383	4,9322	0,0006
limper	62,3864	21,1665	2,94741	0,0146
relación relieve	5,73445	1,57398	3,64328	0,0045

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	231543,0	4	57885,8	16,99	0,0002
Residual	34079,1	10	3407,91		
Total (Corr.)	265622,0	14			

R-squared = 87,1701 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 82,0381 percent

Standard Error of Est. = 58,3773

Mean absolute error = 38,1806

Durbin-Watson statistic = 2,10498 (P=0,4414)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,124477

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Selection variable: CUENCA="T"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-59,5802	84,8043	-0,702561	0,5023
Pb 500	0,0644235	0,805334	0,079996	0,9382
longitud cauce	-0,23148	1,95092	-0,118651	0,9085
limper	50,6868	28,5426	1,77583	0,1137
área cuenca	0,0735683	0,0946467	0,777294	0,4594
elevación cuenca	0,182422	0,0917716	1,98778	0,0821
pendiente cauce	-1,19051	6,22959	-0,191105	0,8532

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	234424,0	6	39070,7	10,02	0,0023
Residual	31198,2	8	3899,78		
Total (Corr.)	265622,0	14			

R-squared = 88,2547 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 79,4457 percent

Standard Error of Est. = 62,4482

Mean absolute error = 35,1399

Durbin-Watson statistic = 1,94613 (P=0,4541)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,169294



### V.3. ANÁLISIS DE LAS CUENCAS DEL GUADIANA

#### Multiple Regression Analysis

**Dependent variable: Q 10**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-81,175	71,5149	-1,13508	0,2996
Pb 10	1,40384	1,52387	0,921235	0,3925
longitud cauce	0,296854	0,11218	2,64622	0,0382
limper	4,90701	3,4712	1,41364	0,2072
relación relieve	-1,88017	2,95398	-0,636486	0,5480

#### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1681,83	4	420,457	2,63	0,1394
Residual	958,898	6	159,816		

Total (Corr.) 2640,73 10

R-squared = 63,6881 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 39,4802 percent

Standard Error of Est. = 12,6418

Mean absolute error = 6,47824

Durbin-Watson statistic = 1,89494 (P=0,4471)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,345723

#### Multiple Regression Analysis

**Dependent variable: Q 10**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	33,5629	64,7132	0,518641	0,6314
Pb 10	-1,27964	1,53808	-0,831973	0,4522
longitud cauce	0,891756	0,329994	2,70234	0,0540
limper	2,43429	2,34711	1,03714	0,3582
área cuenca	-0,0131701	0,0089294	-1,47492	0,2143
elevación cuenca	-0,0800332	0,0806526	-0,99232	0,3772
pendiente cauce	4,07827	3,47831	1,17249	0,3061

#### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2089,41	6	348,235	2,53	0,1944
Residual	551,315	4	137,829		

Total (Corr.) 2640,73 10

R-squared = 79,1226 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 47,8066 percent

Standard Error of Est. = 11,74

Mean absolute error = 5,91703

Durbin-Watson statistic = 1,66809 (P=0,4889)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,111888

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-183,24	181,292	-1,01074	0,3511
Pb 25	2,76444	3,18349	0,868368	0,4186
longitud cauce	0,339892	0,226596	1,49999	0,1843
limper	8,92599	6,74229	1,32388	0,2337
relación relieve	-4,11392	6,44942	-0,637874	0,5471

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3442,44	4	860,611	2,23	0,1820
Residual	2318,1	6	386,35		

Total (Corr.) 5760,55 10

R-squared = 59,759 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 32,9317 percent

Standard Error of Est. = 19,6558

Mean absolute error = 10,1805

Durbin-Watson statistic = 1,77801 (P=0,3931)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,271068

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 25**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	49,4285	109,729	0,450459	0,6757
Pb 25	-1,59707	2,13863	-0,746771	0,4967
longitud cauce	1,32875	0,482694	2,75278	0,0512
limper	3,9402	3,57552	1,10199	0,3323
área cuenca	-0,0182725	0,0121642	-1,50216	0,2075
elevación cuenca	-0,118019	0,121257	-0,973293	0,3855
pendiente cauce	6,49847	5,26698	1,23381	0,2848

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	4518,39	6	753,065	2,43	0,2053
Residual	1242,15	4	310,539		

Total (Corr.) 5760,55 10

R-squared = 78,4369 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 46,0921 percent

Standard Error of Est. = 17,6221

Mean absolute error = 8,61787

Durbin-Watson statistic = 2,04886 (P=0,3550)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,298911

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-42,3966	260,905	-0,162498	0,8762
Pb 100	-0,113849	3,42806	-0,0332108	0,9746
longitud cauce	0,757158	0,511815	1,47936	0,1895
limper	6,71266	10,7306	0,625563	0,5546
relación relieve	3,47668	8,74831	0,397411	0,7048

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	8688,68	4	2172,17	1,66	0,2756
Residual	7852,04	6	1308,67		

Total (Corr.) 16540,7 10

R-squared = 52,529 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 20,8817 percent

Standard Error of Est. = 36,1756

Mean absolute error = 19,759

Durbin-Watson statistic = 2,02327 (P=0,4351)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,330859

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 100**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-61,6125	153,287	-0,401942	0,7083
Pb 100	0,0594437	2,16687	0,027433	0,9794
longitud cauce	1,8515	0,682217	2,71394	0,0533
limper	9,17536	6,36896	1,44064	0,2231
área cuenca	-0,0239602	0,0176253	-1,35942	0,2456
elevación cuenca	-0,220369	0,220964	-0,997308	0,3751
pendiente cauce	7,31286	7,2617	1,00704	0,3709

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	12648,7	6	2108,12	2,17	0,2372
Residual	3892,02	4	973,006		

Total (Corr.) 16540,7 10

R-squared = 76,4701 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 41,1751 percent

Standard Error of Est. = 31,193

Mean absolute error = 14,831

Durbin-Watson statistic = 2,5452 (P=0,2618)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,488008

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-60,552	169,675	-0,35687	0,7334
Pb 500	-0,415629	1,50789	-0,275636	0,7921
longitud cauce	1,29732	0,714886	1,81472	0,1195
limper	10,0404	14,5863	0,688345	0,5170
relación relieve	10,7675	9,47012	1,137	0,2989

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	36023,9	4	9005,97	2,13	0,1942
Residual	25318,3	6	4219,71		

Total (Corr.) 61342,2 10

R-squared = 58,7261 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 31,2102 percent

Standard Error of Est. = 64,9593

Mean absolute error = 37,334

Durbin-Watson statistic = 2,48682 (P=0,2544)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,495468

*Multiple Regression Analysis***Dependent variable: Q 500**

Selection variable: CUENCA="G"

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-198,689	153,922	-1,29085	0,2663
Pb 500	0,887326	1,30356	0,680692	0,5334
longitud cauce	3,20658	1,07941	2,97068	0,0411
limper	20,1412	10,7722	1,86973	0,1349
área cuenca	-0,050242	0,0324967	-1,54607	0,1970
elevación cuenca	-0,457225	0,386441	-1,18317	0,3023
pendiente cauce	14,877	10,7066	1,38952	0,2370

*Analysis of Variance*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	49321,1	6	8220,19	2,74	0,1746
Residual	12021,1	4	3005,27		

Total (Corr.) 61342,2 10

R-squared = 80,4033 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 51,0082 percent

Standard Error of Est. = 54,8203

Mean absolute error = 26,0909

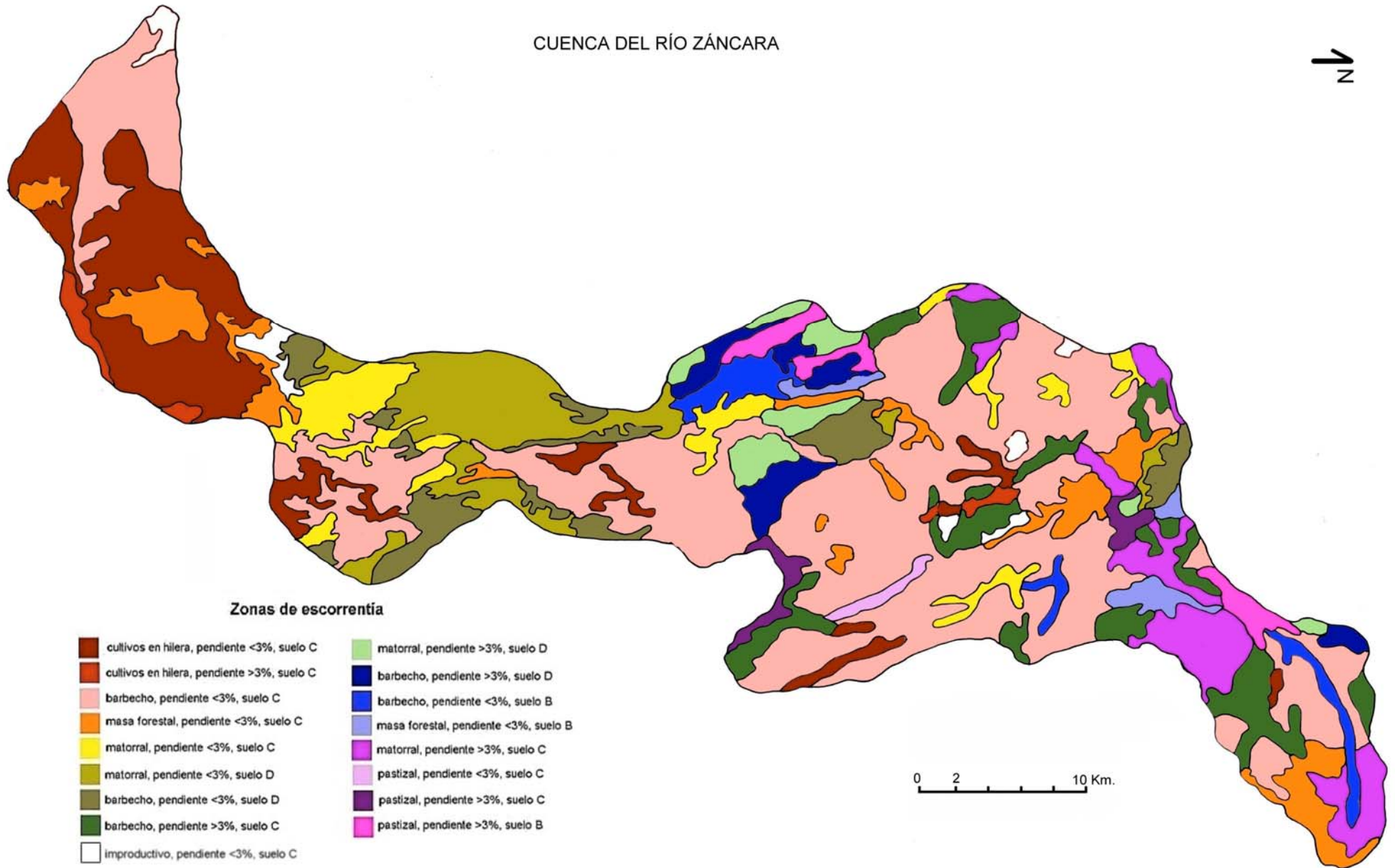
Durbin-Watson statistic = 2,51925 (P=0,2629)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,395376

## **ANEXO VIII**

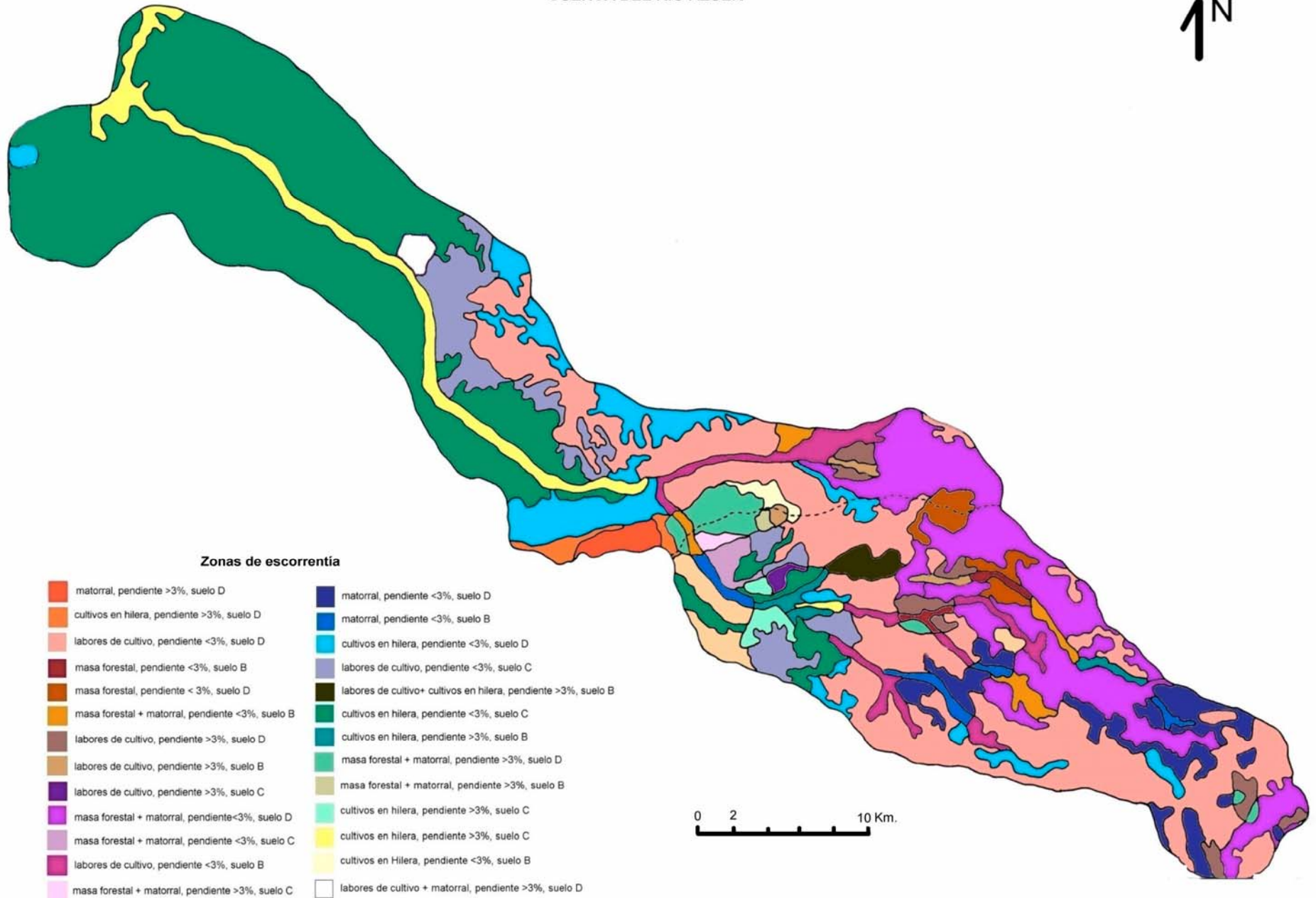
### **MAPAS DE ZONAS DE ESCORRENTÍA**

# CUENCA DEL RÍO ZÁNCARA



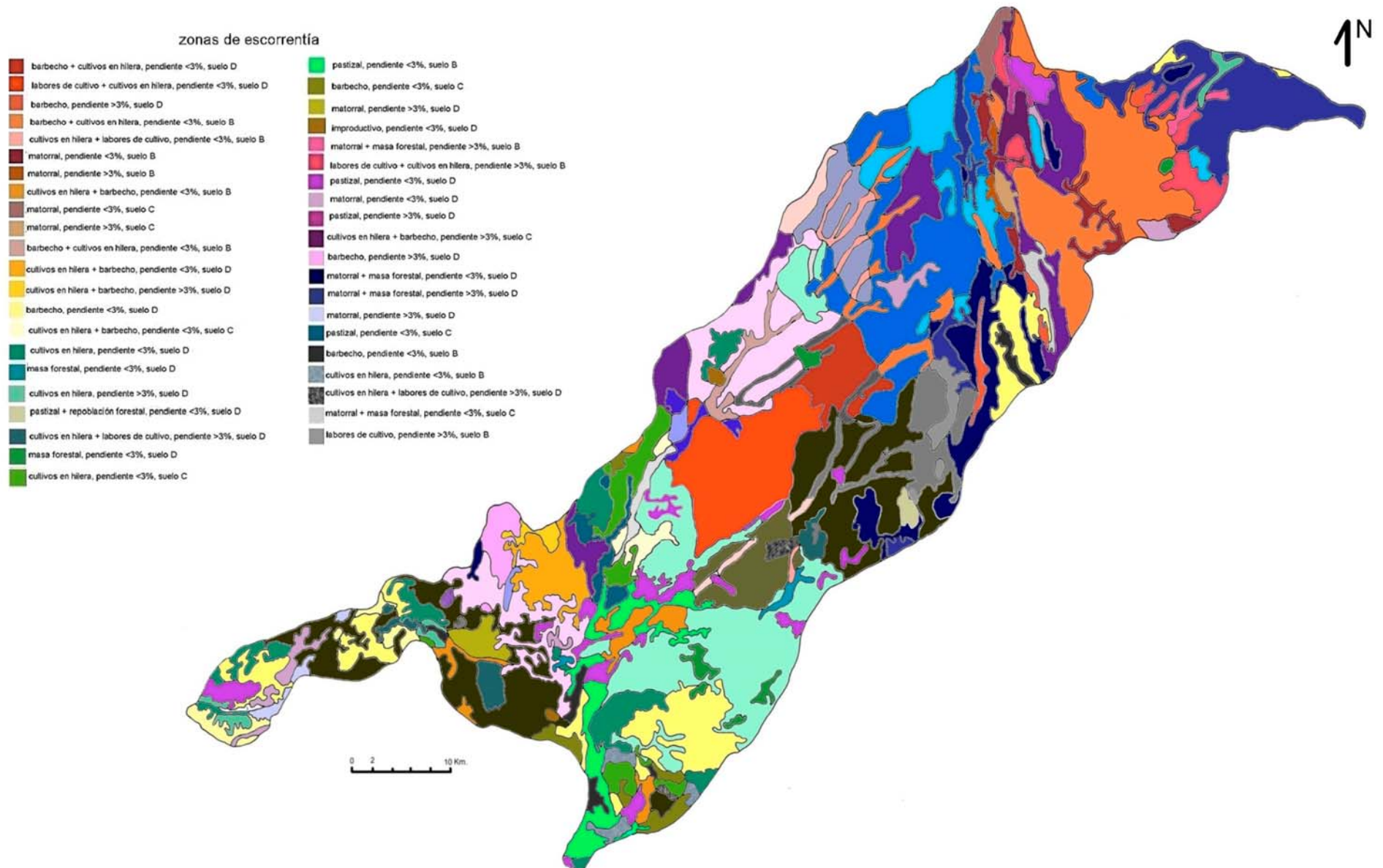
# CUENCA DEL RÍO AZUER

1<sup>N</sup>



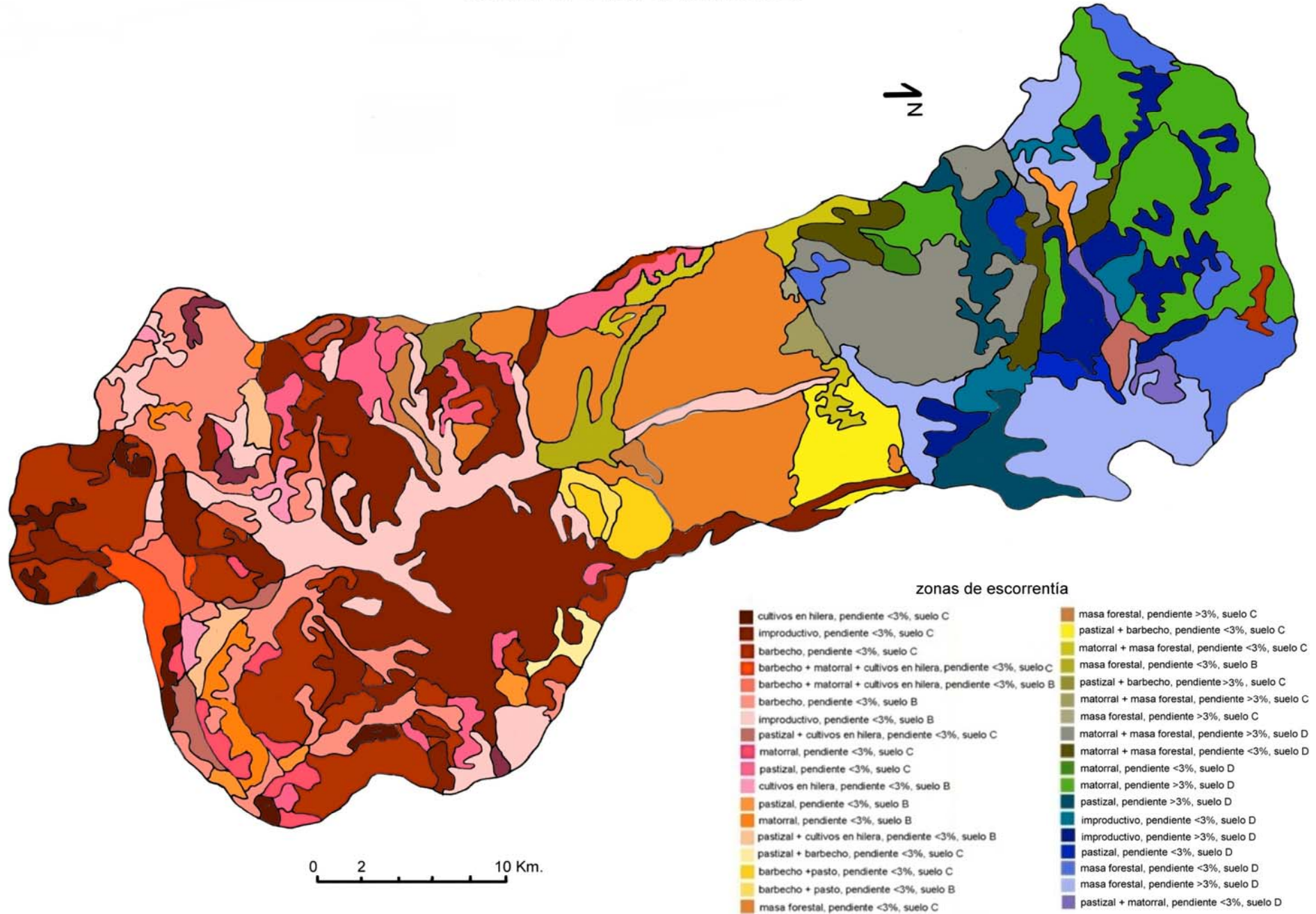


# CUENCA DEL RÍO CIGÜELA

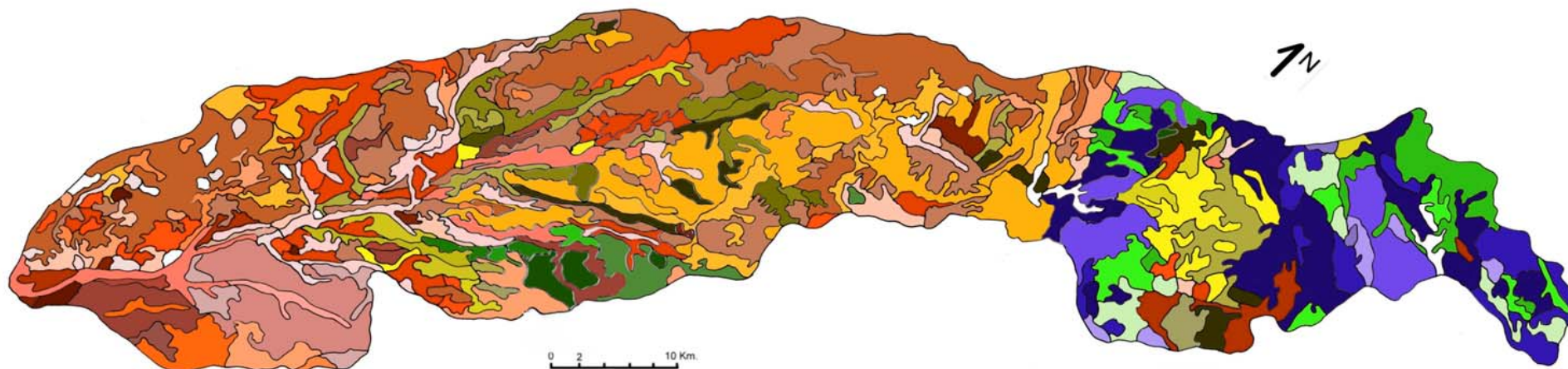




# CUENCA DEL RÍO MANZANARES



# CUENCA DEL RÍO TAJUÑA

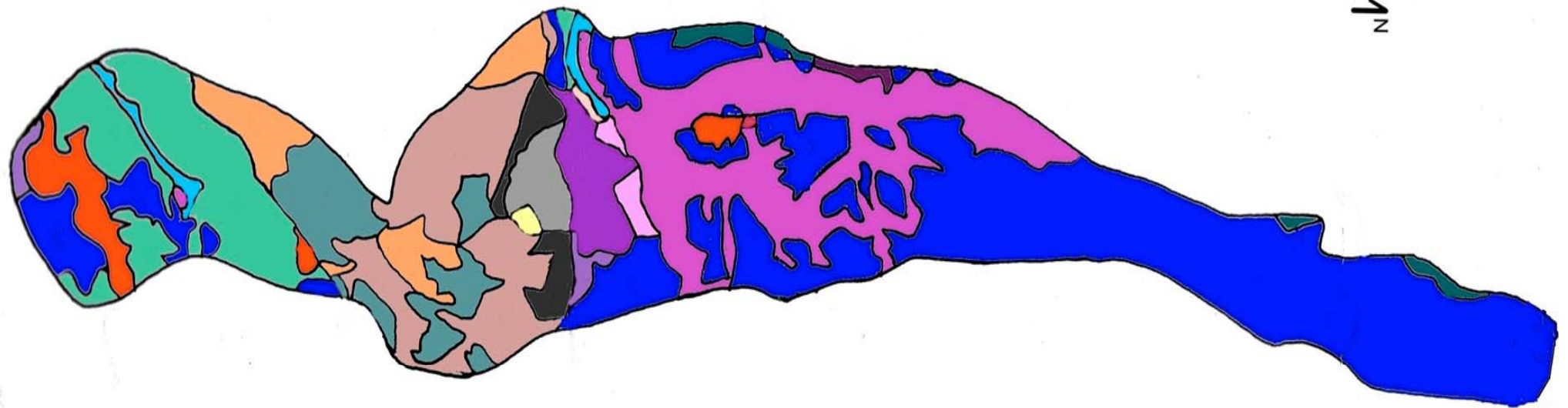


## zonas de escorrentía

matorral + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C	matorral + masa forestal, pendiente >3%, suelo B
matorral + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo B	matorral + masa forestal, pendiente <3%, suelo B
matorral, pendiente >3%, suelo B	barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo B
matorral + masa forestal, pendiente >3%, suelo C	barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C
cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo B	barbecho, pendiente >3%, suelo B
cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C	barbecho, pendiente <3%, suelo B
cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C	cultivos en hilera + matorral, pendiente >3%, suelo C
barbecho + cultivos en hilera + matorral, pendiente >3%, suelo C	cultivos en hilera + matorral, pendiente <3%, suelo C
barbecho + cultivos en hilera + matorral, pendiente <3%, suelo C	cultivos en hilera + matorral, pendiente >3%, suelo B
pastizal + matorral, pendiente >3%, suelo B	masa forestal, pendiente >3%, suelo B
pastizal + matorral, pendiente >3%, suelo C	barbecho + pastizal, pendiente >3%, suelo C
barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C	barbecho + pastizal, pendiente <3%, suelo C
barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C	masa forestal + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C
pastizal, pendiente >3%, suelo C	masa forestal + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C
pastizal, pendiente <3%, suelo C	pastizal denso, pendiente >3%, suelo D
matorral, pendiente >3%, suelo C	barbecho, pendiente >3%, suelo D
matorral, pendiente <3%, suelo C	barbecho, pendiente <3%, suelo D
barbecho, pendiente >3%, suelo C	matorral, pendiente >3%, suelo D
barbecho, pendiente <3%, suelo C	matorral, pendiente <3%, suelo D
masa forestal, pendiente >3%, suelo C	masa forestal, pendiente >3%, suelo D
masa forestal, pendiente <3%, suelo C	masa forestal, pendiente <3%, suelo D
improductivo	cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo D



# CUENCA DEL RÍO BAÑUELOS (ALCALÁ DE HENARES)



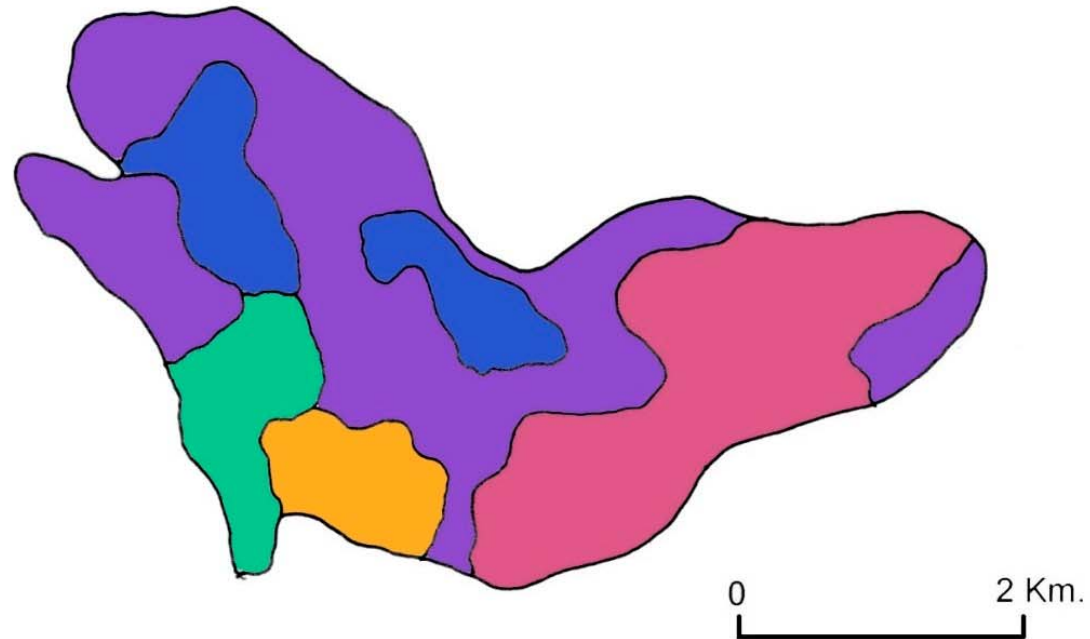
## zonas de escorrentía

barbecho, pendiente <3%, suelo C	barbecho, pendiente <3%, suelo B
matorral, pendiente <3%, suelo C	cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo B
matorral, pendiente <3%, suelo D	cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C
barbecho, pendiente <3%, suelo D	barbecho, pendiente >3%, suelo C
improductivo, pendiente <3%, suelo D	cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C
improductivo, pendiente <3%, suelo C	cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo B
barbecho, pendiente <3%, suelo C	barbecho, pendiente >3%, suelo B
pastizal, pendiente <3%, suelo C	patizal + matorral, pendiente >3%, suelo C
pastizal, pendiente <3%, suelo B	improductivo, pendiente >3%, suelo C

0 1 Km.

## CUENCA DEL ARROYO DE LA VEGA

1<sup>N</sup>

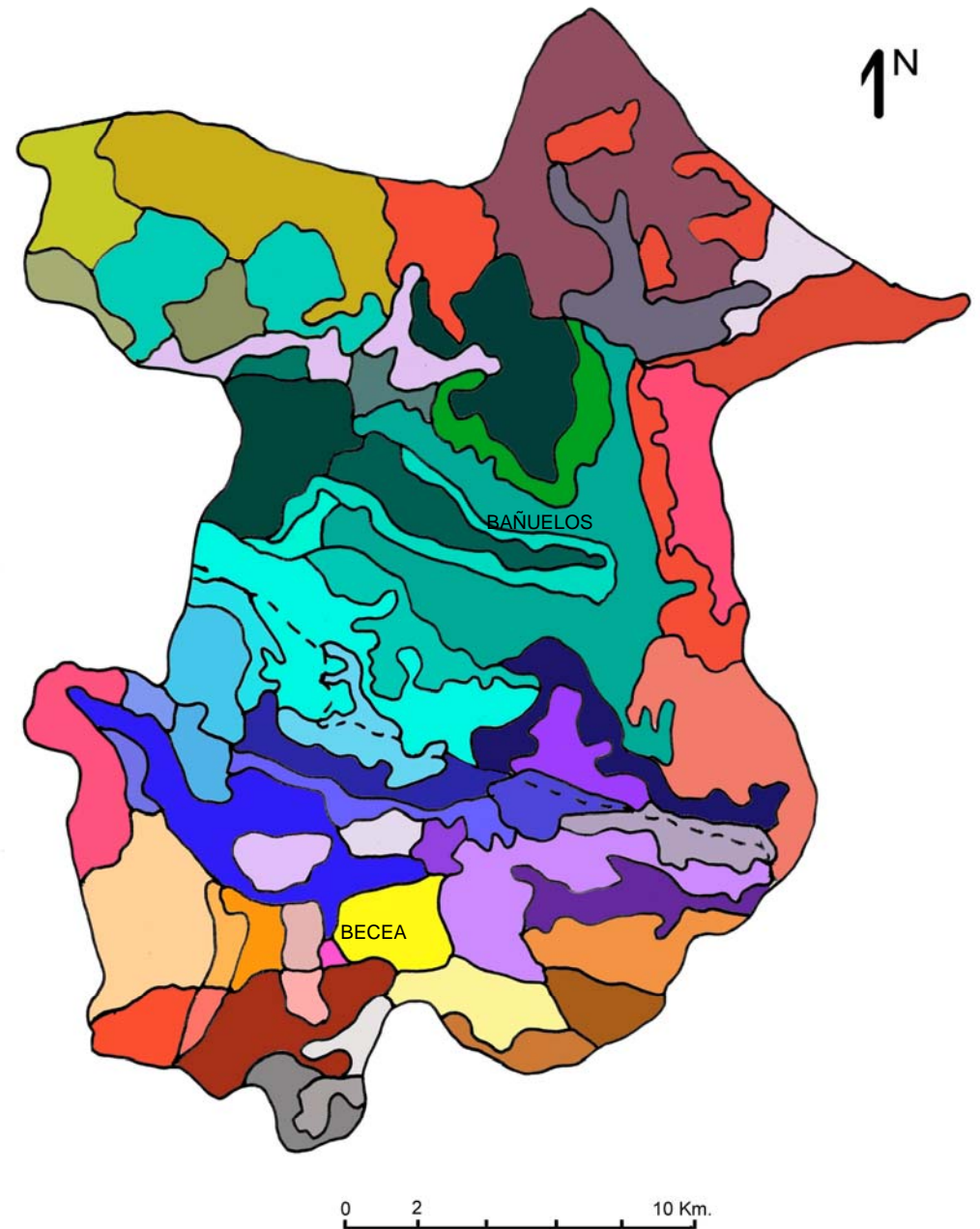


- pastizal, pendiente <3%, suelo C
- barbecho, pendiente <3%, suelo C
- improductivo, pendiente <3%, suelo C
- matorral, pendiente <3%, suelo C
- replantación forestal, pendiente <3%, suelo C

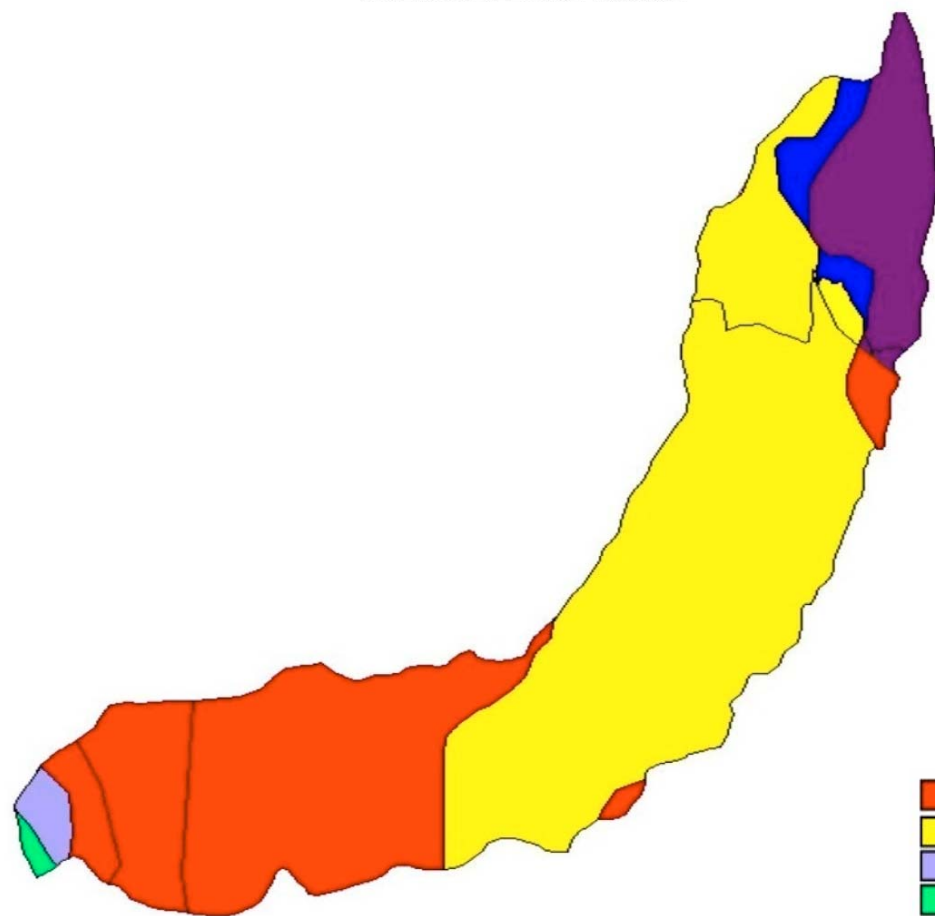
## CUENCAS DE LOS RÍOS BECEA Y BAÑUELOS

### zonas de escorrentía

- |   |  |
|---|--|
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo D | barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo B            |
| barbecho, pendiente >3%, suelo D                      | pastizal, pendiente >3%, suelo B                                 |
| cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo D            | cultivos en hilera + pastizal, pendiente <3%, suelo C            |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo D            | pastizal + barbecho + improductivo, pendiente >3%, suelo D       |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C            | pastizal + improductivo, pendiente >3%, suelo D                  |
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C | barbecho, pendiente <3%, suelo D                                 |
| pastizal, pendiente >3%, suelo D                      | barbecho + pastizal, pendiente <3%, suelo B                      |
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C | barbecho + pastizal, pendiente >3%, suelo C                      |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C            | pastizal, pendiente <3%, suelo D                                 |
| barbecho, pendiente <3%, suelo C                      | pastizal + barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo D |
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C | pastizal + barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo B |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo D            | pastizal + barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C            | pastizal + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo D            |
| barbecho, pendiente <3%, suelo D                      | masa forestal, pendiente >3%, suelo D                            |
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo D | masa forestal + matorral, pendiente >3%, suelo D                 |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo D            | matorral, pendiente >3%, suelo D                                 |
| cultivos en hilera, pendiente <3%, suelo C            | matorral, pendiente >3%, suelo B                                 |
| cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C            | pastizal + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo D            |
| barbecho, pendiente <3%, suelo C                      | cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo B                       |
| barbecho, pendiente <3%, suelo B                      |  |
| barbecho, pendiente >3%, suelo C                      |  |
| barbecho + cultivos en hilera, pendiente >3%, suelo C |  |
| pastizal, pendiente <3%, suelo B                      |  |









CUENCA DEL RÍO PAEQUE



0 2 4 Km.

zonas de escorrentía

-  Monte bajo + masa forestal, pendiente <3%, suelo B
-  Monte bajo + masa forestal, pendiente <3%, suelo C
-  Monte bajo + repoblación forestal, pendiente <3%, suelo B
-  Monte bajo + repoblación forestal, pendiente <3%, suelo C
-  Monte bajo, pendiente <3%, suelo B
-  Monte bajo, pendiente <3%, suelo C